电力物联网
工程技术原理与应用

葛维春　著

清华大学出版社

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

电力物联网
工程技术原理与应用

葛维春　著

清华大学出版社
北　京

内 容 简 介

本书运用信息化与物联网工程技术理论，全面分析国内外能源电力物联网工程技术研究现状与发展趋势、我国能源电力物联网应用工程技术发展特点、智能变电站物联网工程技术与应用、输电线路物联网感知工程技术与应用、供用电物联网通信工程技术与应用、配电系统物联网工程技术与应用、电力GIS物联网工程技术与应用、无线移动通信物联网工程技术与应用、电力人工智能物联网工程技术与应用等，力求反映电力信息化与物联网应用工程技术的最新发展理论与工程实践研究成果，通过电力物联网工程技术实际案例，针对电力信息化与物联网工程领域存在的问题，提出了相应的解决方案。

本书可作为高等院校相关专业教材，也可作为能源电子行业的培训教材，还可作为企事业单位电力物联网工程相关人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电力物联网工程技术原理与应用 / 葛维春著. — 北京：清华大学出版社，2019
ISBN 978-7-302-52809-8

Ⅰ. ①电… Ⅱ. ①葛… Ⅲ. ①互联网络—应用—研究 ②智能技术—应用—研究 Ⅳ. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 081752 号

责任编辑： 杨如林
封面设计： 杨玉兰
版式设计： 方加青
责任校对： 焦丽丽
责任印制：

出版发行： 清华大学出版社
网 址：http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084
社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 装 者：
经 销： 全国新华书店
开 本： 185mm×260mm **印 张：** 25.25 **字 数：** 599 千字
版 次： 2019 年 9 月第 1 版 **印 次：** 2019 年 9 月第 1 次印刷
定 价： 79.00 元

产品编号：083237-01

前　　言

当前，以物联网、云计算、移动通信、大数据、人工智能为代表的新信息技术正在飞速发展，驱动人类社会发展，并不断改变着社会生产和人们日常生活的方式。物联网是新一代信息技术的高度集成和综合运用，具有渗透性强、带动作用大、综合效益好的特点。推进物联网的应用和发展，有利于促进生产、生活和社会管理方式向智能化、精细化、网络化方向转变，对提高国民经济和社会生活信息化水平，提升社会管理和公共服务水平，增强相关学科发展和技术创新能力，推动产业结构调整和发展方式转变具有重要意义。目前，在全球范围内物联网正处于快速发展阶段，到2020年，世界“物物互联”的业务与人类之间的业务之比，将达到30 ∶ 1，仅在智能电网和机场防入侵系统方面的市场就有上千亿美元。因此，物联网被称为下一个万亿美元级的信息技术产业。经过多年发展，我国在物联网技术研发、标准研制、产业培育和行业应用等方面已初步具备一定基础，但也存在关键核心技术有待突破、产业基础薄弱、网络信息安全存在潜在隐患、一些地方出现盲目建设等问题，急需加强引导。

电力行业是关系国计民生的基础行业，随着信息化和网络技术的发展，电力系统的信息化进程也得到了进一步发展。从早期的生产过程自动控制，到电力系统信息综合管理，再到“智能电网”的建设热潮，通过结合计算机技术、网络技术、自动化控制技术以及管理技术，电力系统在物理结构、物理性能、人员状况、经济管理等各方面的信息采集与控制技术日趋完善。电力物联网应用到智能电网中是现代电力通信技术发展的必然结果，通过对通信基础设施和电力系统基础设施等资源的整合，提高电力系统的信息化水平。为电发、输电、变电、配电、用电、调度等环节提供技术支撑，最终形成一个以电力设备为基础的高效电力网络平台——电力物联网。电力物联网本质上是一种提高电力信息可靠性、高效性的控制手段。物联网的核心能力是全面感知、可靠传送、智能处理，这三个方面恰恰也是智能电网一直追求的目标。电力物联网融合通信、传感、自动化、云计算等技术，在电力生产、输送、变电、配电、高度等各环节，采用各种智能设备和 IP 标准协议，实现相关信息的安全可靠传输处理，从而实现电网运行和企业管理全过程的全景全息感知、互联互通及无缝整合，实现智能电网与物联网的全面融合。

本书作者基于主持和参与的国家、省及国家电网公司等二十余项重大科技项目，大胆探索，组织对科研成果进行规模化工程应用，建立运行维护规程，制定相关技术标准，做好技术跟踪完善，在输电线路故障精准测距、电网动态无功补偿、变电站智能化、提高电网输送能力等关键技术上实现了重大突破，取得了一系列具有国际、国内领先水平的科研成果，本着力求反映电力物联网工程技术的最新发展和理论与工程实践相结合的原则而编写了本书。

本书的突出特点是结合重大科研项目和重大电力系统自动化与信息化工程研究，运用信息化与物联网工程技术理论，全面分析国内外能源电力物联网工程技术研究现状与发展趋势、我国能源电力物联网应用工程技术发展特点，总结电力物联网工程技术理论与实际大量成果。本书通过电力物联网工程技术实际案例，针对电力信息化与物联网工程领域存在的问题，提出了相应的解决方案。读者通过本书既可以学习电力物联网工程理论和基础知识，也可以通过大量实例掌握电力物联网工程组织、管理和技术实现方法。本书是一本电力物联网工程技术原理与应用的工具书，可作为高等院校、能源电力等行业的教材，也可以作为企事业单位从事电力物联网工程相关人员的参考用书。

衷心感谢国家电网公司科技部和信通部、中国电力科学研究院、国网电力科学研究院、哈尔滨工业大学、辽宁省电力有限公司领导和专家的指导帮助，衷心感谢辽宁省电力有限公司有关部门、基层各单位同志的大力支持，衷心感谢辽宁省电力有限公司享受国务院特殊津贴专家、辽宁省优秀专家、教授级高级工程师潘明惠博士对本书编撰、出版给予的指导和帮助。

由于时间仓促，作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

葛维春

2019 年 3 月

目　　录

第 1 章　绪论 …… 1

1.1　背景与意义 …… 2

1.2　国内外物联网工程技术发展历程及趋势 …… 4

1.2.1　国际物联网工程技术发展历程及趋势 …… 4

1.2.2　我国物联网工程技术发展历程及趋势 …… 7

1.3　我国电力物联网工程技术发展历程及主要任务 …… 10

1.3.1　我国电力物联网工程技术发展历程及趋势 …… 10

1.3.2　国家推进物联网工程技术发展的主要任务 …… 12

1.4　电力物联网系统工程面临的新形势与新挑战 …… 18

1.4.1　电力物联网工程技术发展面临的新形势 …… 18

1.4.2　电力物联网工程技术面临的新挑战 …… 19

1.4.3　电力物联网工程技术主要研究方向 …… 23

第 2 章　电力物联网工程技术基础理论 …… 26

2.1　信息化工程基本理论 …… 27

2.1.1　社会发展系统动力学原理模型 …… 27

2.1.2　信息化是现代人类社会发展的必然趋势 …… 28

2.1.3　大数据基本概念 …… 32

2.1.4　物联网工程技术主要应用领域 …… 34

2.2　电力物联网工程技术基础理论 …… 37

2.2.1　电力物联网工程技术基本概念 …… 37

2.2.2　智能电网具备物联网工程技术基本特性 …… 38

2.2.3　电力物联网技术应用智能电网 …… 41

2.2.4 机器人传感器的类别及应用原理 ··· 44
2.3 能源物联网工程技术基本理论 ··· 48
2.3.1 能源物联网基本概念 ··· 48
2.3.2 国家推动能源互联网发展总体要求 ··· 52
2.3.3 推动能源互联网发展的重点任务 ··· 53
第 3 章 电力物联网工程技术基础知识 ··· 60
3.1 电力物联网工程技术基本概念 ··· 61
3.1.1 物联网工程技术基本概念 ··· 61
3.1.2 新一代 5G 移动通信技术 ··· 63
3.1.3 互联网与物联网比较分析 ··· 67
3.1.4 智慧城市的含义及其新技术 ··· 68
3.2 电力物联网工程技术基础知识 ··· 69
3.2.1 智能电网概念及主要特点 ··· 69
3.2.2 微电网、微能源网与能源互联网 ··· 73
3.2.3 基于物联网的电力系统发展分析 ··· 76
3.3 区块链技术和应用基础知识 ··· 80
3.3.1 区块链技术发展路径及生态 ··· 80
3.3.2 国内外区块链技术发展现状 ··· 85
3.3.3 区块链与新一代信息技术 ··· 87
3.3.4 区块链技术典型应用领域 ··· 89
第 4 章 智能变电站物联网工程技术与应用 ··· 93
4.1 智能变电站物联网工程技术基本原理 ··· 94
4.1.1 智能化变电站概述 ··· 94
4.1.2 智能化变电站的物联系统结构 ··· 96
4.1.3 智能变电站实现综合智能化通信模型 ··· 99
4.2 智能变电站实施物联智能化方法 ··· 100
4.2.1 智能变电站保护控制系统物联集成方法 ··· 100
4.2.2 实时仿真数据的保护控制系统测试平台 ··· 108
4.2.3 智能变电站信息流的确定性特征 ··· 114
4.2.4 智能变电站信息网络安全防护技术 ··· 117
4.3 智能变电站物联网技术应用案例分析 ··· 121
4.3.1 智能变电站一次设备物联网系统 ··· 121

4.3.2 智能变电站二次设备物联网系统……124
4.3.3 智能变电站综合物联系统……132

第 5 章 输电线路物联网感知工程技术与应用……140

5.1 输电线路物联网感知技术基础知识……141
5.1.1 输电线路物联网感知技术基本概念……141
5.1.2 国内外输电线路物联网感知技术发展综述……143
5.1.3 电力系统基本概念及主要特点……145
5.1.4 输电线路运检故障分析与防治方法……147

5.2 输电线路物联网感知技术设计……151
5.2.1 物联网 LoRa 通信技术设计……151
5.2.2 物联网监测设备智能化技术设计……154
5.2.3 物联网输电线路在线监测技术设计……157
5.2.4 物联网监控云平台技术设计……161

5.3 输电线路物联网感知技术研究与案例分析……165
5.3.1 输电线路感知技术应用研究总体技术路线……165
5.3.2 输电线路的 LoRa 广域物联通信技术研究……166
5.3.3 输电线路监测设备智能化技术研究……169
5.3.4 输电线路传感物联监控云平台技术研究……173

第 6 章 供用电物联网通信工程技术与应用……180

6.1 供用电物联网通信工程基础知识……181
6.1.1 智能供用电网物联网通信体系基本概念……181
6.1.2 供用电通信网网络基本功能及特点……183
6.1.3 电力数据通信网络的规划与应用……186
6.1.4 电力营销系统市场化发展战略……188

6.2 智能供用电物联网通信工程技术设计……189
6.2.1 面向智能电网的电力通信网络规划设计……189
6.2.2 异构多源特征的营配信息管控平台设计……192
6.2.3 智能电力营销一体化模型设计……195
6.2.4 空间大数据前端展现技术原理……200

6.3 智能供用电物联网工程技术应用案例……203
6.3.1 电力营销系统市场化发展战略重点任务……203
6.3.2 智能电能表全过程质量综合评价技术应用……208

6.3.3 电力通信系统中的软交换技术的应用……212
6.3.4 多介质融合的智能配用电网通信关键技术应用……214

第 7 章 配电系统物联网工程技术与应用……219

7.1 配电系统物联网工程技术基础知识……220
7.1.1 配电物联网设计技术的基本概念……220
7.1.2 配电网综合自动化系统技术基础……221
7.1.3 配电网规划设计技术基础知识……226
7.1.4 国家配电网建设改造行动计划重点任务……227

7.2 配电系统物联网技术实施方法……229
7.2.1 电力系统负荷预测技术及方法……230
7.2.2 配电网现状问题诊断及发展水平评价……234
7.2.3 智能配电物联网通信组网技术……237

7.3 配电系统物联网工程实际案例分析……239
7.3.1 配电物联网自动化通信协议设计应用……239
7.3.2 配电网系统网架结构设计应用……242
7.3.3 配电物联网自动化技术设计应用……247
7.3.4 配电网物联系统用户接入设计应用……250

第 8 章 电网 GIS 物联网工程技术与应用……256

8.1 电网 GIS 物联网工程技术基本原理……257
8.1.1 电网 GIS 物联网工程技术基本概念……257
8.1.2 “北斗”卫星导航系统与地理信息系统……258
8.1.3 空间位置信息采录与数据采集整理……264
8.1.4 基于电网 GIS 物联网配电专业应用方法……266

8.2 电网 GIS 物联网工程技术设计方法……272
8.2.1 电网 GIS 输配电物联网系统一体化……272
8.2.2 网络三维 GIS 与电网工程数字化设计移交系统……276
8.2.3 电网 GIS 物联网信息安全架构设计方法……279
8.2.4 电网 GIS 与配电自动化系统集成设计方法……282

8.3 辽宁电网 GIS 空间信息服务平台建设案例……285
8.3.1 电网 GIS 建设目标及原则……285
8.3.2 电网 GIS 基础数据准备方案……287
8.3.3 电网 GIS 总体功能框架……289

8.3.4 电网 GIS 物联网系统主要应用功能 290

第 9 章 无线移动通信物联网工程技术与应用 295

9.1 无线移动通信物联网工程技术基本原理 296

9.1.1 无线移动通信技术基本概念 296

9.1.2 三网融合的感知与控制物联网系统平台 299

9.1.3 光纤通信技术概念及主要特点 302

9.1.4 多表合一集抄系统的关键网络技术 304

9.2 无线移动通信物联网工程技术方法 307

9.2.1 面向输变配用的传感网关键技术方法 307

9.2.2 传感网接入 TD 网关键技术研究与装置 313

9.2.3 面向电网安全监控与信息互动的智能传感装置 315

9.2.4 面向电网安全监控与信息互动的信息处理技术 331

9.3 无线移动通信物联网示范工程应用案例 336

9.3.1 220kV 输电线路物联网线监测示范应用 336

9.3.2 何家 220kV 智能变电站在线监测示范应用 343

9.3.3 配电线路物联网系统在线示范应用 347

9.3.4 电力营销信息物联网系统在线示范应用 351

第 10 章 电力人工智能物联网工程技术与应用 355

10.1 电力人工智能物联网工程技术基本原理 356

10.1.1 人工智能物联网工程技术基本概念 356

10.1.2 电力人工智能物联网工程技术与应用 359

10.1.3 我国人工智能应用与生态发展分析 364

10.2 国家新一代人工智能发展战略 367

10.2.1 新一代人工智能技术国家发展战略 367

10.2.2 加快新时期人工智能发展重点任务 371

10.2.3 新时期人工智能技术四大攻关领域 379

10.3 电力人工智能物联网应用技术展望 381

10.3.1 运检人工智能物联网技术应用 381

10.3.2 运行控制人工智能物联网技术应用 387

10.3.3 供用电服务人工智能物联网技术应用 390

参考文献 393

第 1 章
绪　　论

1.1　背景与意义

本章重点介绍的是电力物联网工程背景与意义、国内外物联网工程技术的发展历程及趋势、我国电力物联网工程技术发展历程及主要任务、我国电力物联网系统工程面临的新形势与挑战。

物联网是新一代信息技术的高度集成和综合运用，对新一轮产业变革和经济社会绿色、智能、可持续发展具有重要意义。当前，物联网正加速渗透到生产、消费和社会管理等各领域，物联网设备规模呈现爆发性增长趋势，万物互联时代正在到来。

我国高度重视物联网产业发展，在 2009 年就提出“感知中国”战略，以国家战略性新兴产业的高度大力推进其发展。2013 年，下发了《国务院关于推进物联网有序健康发展的指导意见》，2016 年下发了《信息通信行业发展规划物联网分册（2016—2020 年）》，促进我国物联网、大数据等新技术和新业态广泛应用，培育壮大新动能成为国家战略。我国物联网产业发展取得显著成效，成为全球物联网发展最为活跃的地区之一。

1. 产业规模持续高速增长

近几年来，我国物联网产业规模高速增长。“十三五”期间，随着万物互联时代开启，我国物联网产业规模也将保持高速发展势头。一方面，全球范围普遍看好物联网产业发展，各大咨询机构普遍预测全球物联网产业规模将有爆发性增长。Gartner 预测 2020 年全球联网设备数量将达 260 亿，物联网市场规模超过 1.9 万亿美元，IDC 也给出 1.7 万亿美元规模的预测；另一方面，当前我国物联网企业更多集中在感知层和传输层，随着物联网在各领域融合应用的不断深化，产业重心将向软件和数据服务方向转移。

2. 产业集聚区初步形成

从全国物联网产业空间分布来看，已初步形成分别以北京—天津、上海—无锡、深圳—广州、重庆—成都为核心的环渤海、长三角、珠三角、西部地区等四大区域集聚发展的产业空间格局。各产业集聚区相互独立、各有特色，汇聚一批具有全国影响力的龙头企业，产业链逐渐完善，研发机构和公共服务等配套体系基本完备。

3. 互联网和传统行业巨头成为新兴力量

我国已经初步形成包括芯片、元器件、设备、软件、系统集成、运营、应用服务在内的较为完整的物联网产业链，各环节涌现出一批具有较强实力的物联网领军企业。我国互联网领域和传统行业领域巨头瞄准物联网蕴藏的巨大产业价值，快速切入并不断加大投入，成为驱动产业增长的新兴力量。互联网企业大力发展物联网平台服务，并与传统行业领军企业展开合作，多种手段进军物联网市场。当前，阿里智能已有 100 多个生活品类达到智能化，成为全球储量最大的智能硬件平台；百度天工专注工业物联网，在工业、能源、物流等行业领域形成一批解决方案；腾讯物联云平台已吸引 5000 个合作伙伴加入平台实验，推动消费和工业领域智能产品和解决方案研发。

4. 创新创业活力迸发

物联网具有产业链条长、产业集中度低、应用领域广泛、应用场景碎片化等特点，且处于发展的初期阶段，各类技术产品和应用服务尚不成熟，创新发展空间极大，有利于中小企业和创业者切入。随着我国“双创”战略的推进实施，物联网产业的创业创新活力竞相迸发。

一方面，高校和各大物联网产业协会组织的双创比赛受到广泛关注。全国高校物联网应用创新大赛、全国大学物联网创新创业大赛等异常火爆。中关村物联网产业联盟联合全球多家物联网政府主管部门、组织和企业，举办全球物联网大赛，有力促进物联网发展新路径、新模式的探索；另一方面，物联网创造了巨大的创业机会。通过粗略统计，新三板挂牌物联网企业数量达到 267 家，企业每年新挂牌企业数量呈现快速增长趋势。

5. 我国的物联网优势

物联网在中国迅速崛起得益于我国在物联网方面的几大优势。

第一，我国早在 1999 年就启动了物联网核心传感网技术研究，研发水平居世界前列。

第二，在世界传感网领域，我国是标准主导国之一，专利拥有量高。

第三，我国是能够实现物联网完整产业链的国家之一。

第四，我国无线通信网络和宽带覆盖率高，为物联网的发展提供了坚实的基础设施支持。

第五，我国已经成为世界第二大经济体，有较为雄厚的经济实力支持物联网发展。

我国物联网工程技术发展加速进入“跨界融合、集成创新和规模化发展”的新阶段，与我国新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化建设深度交汇，面临广阔的发展前景。另一方面，我国物联网发展又面临国际竞争的巨大压力，核心产品全球化、应用需求本地化的趋势更加凸显，机遇与挑战并存。万物互联时代已开启，智能可穿戴设备、智能家电、智能网联汽车、智能机器人等数以万亿计的新设备将接入网络，形成海量数据，

应用呈现爆发性增长，促进生产生活和社会管理方式进一步向智能化、精细化、网络化方向转变，经济社会发展更加智能、高效。第五代移动通信技术（5G）、窄带物联网（NB-IoT）等新技术为万物互联提供了强大的基础设施支撑能力。万物互联的泛在接入、高效传输、海量异构信息处理和设备智能控制，以及由此引发的安全问题等，都对发展物联网技术和应用提出了更高要求。

1.2 国内外物联网工程技术发展历程及趋势

本节介绍的主要内容是国际物联网工程技术发展历程及趋势、我国物联网工程技术发展历程及趋势。

1.2.1 国际物联网工程技术发展历程及趋势

物联网（The Internet of things）的概念是由麻省理工学院 Auto-ID 研究中心（Auto-ID Labs）于 1999 年提出的，其最初的含义是指把所有物品通过射频识别等信息传感设备与互联网连接起来，实现智能化识别和管理。到了 2005 年，国际电信联盟（ITU）发布了一份题为 *The Internet of things* 的年度报告，对物联网概念进行了扩展，提出了任何时刻、任何地点、任意物体之间互联（Any Time、Any Place、Any Things Connection），无所不在的网络（Ubiquitous Networks）和无所不在的计算（Ubiquitous computing）的发展愿景，除 RFID 技术外，传感器技术、纳米技术、智能终端（Smart Things）等技术将得到更加广泛的应用。

1. 物联网在国外研发应用现状和发展趋势

目前，国外对物联网的研发、应用主要集中在美、欧、日、韩等少数国家。最初的研发方向主要是条形码、RFID 等技术在商业零售、物流领域的应用。随着 RFID、传感器技术、近程通信以及计算技术等方面的发展，近年来物联网的研发、应用开始拓展到环境监测、生物医疗、智能基础设施等领域。例如，总部位于比利时的欧洲合作研发机构校际微电子中心（IMEC）利用 GPS、RFID 技术已经开发出远程环境监测、先进工业监测等系统，近来该机构还利用在微电子及生物医药电子领域的领先技术，积极研发具有可遥控、体积小、成本低等功能的微电子人体传感器、自动驾驶系统等技术；思科已经开发出“智能互联建筑”解决方案，为位于硅谷的美国网域存储技术有限公司节约了 15% 的能耗；IBM 提出了“智慧地球”的概念，并已经开发出了涵盖智能电力、智能医疗、智能交通、智能银行、智能城市等多项物联网应用方案；美国政府目前正在推动与墨西哥边境的“虚拟边境”建设，该项目依靠传感器网络技术，据报道仅其设备采购额就高

达数百亿美元。

欧洲智能系统集成技术平台（EPOSS）在 *Internet of Things in 2020* 报告中分析预测，物联网的发展将经历四个阶段：2010年之前，RFID被广泛应用于物流、零售和制药领域；2010—2015年，物体互联；2015—2020年，物体半智能化；2020年之后，物体全智能化。就目前而言，许多物联网相关技术仍在开发测试阶段，离不同系统之间融合、物与物之间的普遍链接的远期目标还存在一定差距。

2. 国外推动物联网发展的政策措施

1）欧盟

2009年，欧盟执委会发表了题为 *Internet of Things-An action plan for Europe* 的物联网行动方案，描绘了物联网技术应用的前景，并提出要加强欧盟政府对物联网的管理，消除物联网发展的障碍。行动方案提出以下政策建议。

（1）加强物联网管理，包括制定一系列物联网的管理规则；建立一个有效的分布式管理（Decentralised Management）架构，使全球管理机构可以公开、公平、尽责地履行管理职能。

（2）完善隐私和个人数据保护，包括持续监测隐私和个人数据保护问题，修订相关法律，加强相关方对话等；执委会将针对个人可以随时断开联网环境（the silence of the chips）开展技术、法律层面的辩论。

（3）提高物联网的可信度（Trust）、接受度（Acceptance）、安全性（Security）。

（4）推广标准化，执委会将评估现有物联网相关标准并推动制定新的标准，持续监测欧洲标准组织（ETSI、CEN、CENELEC）、国际标准组织（ISO、ITU）以及其他标准组织（IETF、EPC global 等）的物联网标准制定进度，确保物联网标准的制定是在各相关方的积极参与下，以一种开放、透明、协商一致的方式达成。

（5）加强相关研发，包括通过欧盟第7期科研框架计划项目（FP7）支持物联网相关技术研发，如微机电、非硅基组件、能量收集技术（Energy harvesting Technologies）、无所不在的定位（Ubiquitous Positioning）、无线通信智能系统网（Networks of Wirelessly Communicating Smart Systems）、语义学（Semantics）、基于设计层面的隐私和安全保护（Privac and Security by Design）、软件仿真人工推理（Software Emulating Human Reasoning）以及其他创新应用，通过公私伙伴模式（PPP）支持包括未来互联网（Future Internet）等在内项目建设，并将其作为刺激欧洲经济复苏措施的一部分。

（6）建立开放式的创新环境，通过欧盟竞争力和创新框架计划（CIP）利用一些有助于提升社会福利的先导项目推动物联网部署，这些先导项目主要包括 e-health、e-accessibility、应对气候变迁、消除社会数字鸿沟等。

（7）增强机构间协调，为加深各相关方对物联网机遇、挑战的理解，共同推动物联网发展，欧盟执委会定期向欧洲议会、欧盟理事会、欧洲经济与社会委员会、欧洲地区委员会、数据保护法案29工作组等相关机构通报物联网发展状况。

（8）加强国际对话，加强欧盟与国际伙伴在物联网相关领域的对话，推动相关的联合行动、分享最佳实践经验。

（9）推广物联网标签、传感器在废物循环利用方面的应用。

（10）加强对物联网发展的监测和统计，包括对发展物联网所需的无线频谱的管理、对电磁影响等管理。

2）美国

2009 年 1 月 7 日，IBM 与美国智库机构信息技术与创新基金会（ITIF）共同向奥巴马政府提交了 *The Digital Road to Recover：A Stimulus Plan to Create Jobs，Boost Productivity and Revitalize America* 草案，提出通过信息通信技术（ICT）投资可在短期内创造就业机会，美国政府只要新增 300 亿美元的 ICT 投资（包括智能电网、智能医疗、宽带网络三个领域），便可以为民众创造出 94.9 万个就业机会。2009 年 1 月 28 日，在奥巴马就任总统后的首次美国工商业领袖圆桌会议上，IBM 首席执行官建议政府投资新一代的智能型基础设施。上述提议得到了奥巴马总统的积极回应，奥巴马把“宽带网络等新兴技术”定位为振兴经济、确立美国全球竞争优势的关键战略，并在随后出台的总额 7870 亿美元《经济复苏和再投资法》（*Recovery and Reinvestment Act*）中对上述战略建议具体加以落实。《经济复苏和再投资法》希望从能源、科技、医疗、教育等方面着手，透过政府投资、减税等措施来改善经济、增加就业机会，同时带动美国长期发展，其中鼓励物联网技术发展政策主要体现在推动能源、宽带与医疗三大领域开展物联网技术的应用。

3）韩国

自 1997 年起，韩国政府出台了一系列推动国家信息化建设的产业政策。为实现建设信息化社会的愿景，韩国政府持续推动各项相关基础建设、核心产业技术发展，RFID/USN（传感器网）就是其中之一。韩国政府最早在“u-IT 839”计划中就将 RFID/USN 列入发展重点，并在此后推出一系列相关实施计划。目前，韩国的 RFID 发展已经从先导应用开始全面推广；而 USN 也进入实验性应用阶段。

在此基础上，2009 年，韩国通信委员会出台了《物联网基础设施构建基本规划》，将物联网市场确定为新增长动力。《物联网基础设施构建基本规划》提出，到 2012 年实现“通过构建世界最先进的物联网基础实施，打造未来广播通信融合领域超一流信息通信技术强国”的目标，并确定了构建物联网基础设施、发展物联网服务、研发物联网技术、营造物联网扩散环境等 4 大领域、12 项详细课题。

4）日本

20 世纪 90 年代中期以来，日本政府相继制定了 e-japan、u-japan、i-japan 等多项国家信息技术发展战略，从大规模开展信息基础设施建设入手，稳步推进，不断拓展和深化信息技术的应用，以此带动本国社会、经济发展。其中，日本的 u-japan、i-japan 战略与当前提出的物联网概念有许多共通之处。2008 年，日本总务省提出 u-Japan xICT 政策。x 代表不同领域乘以 ICT 的含义，一共涉及三个领域，即产业 xICT、地区

xICT、生活（人）xICT。将 u-Japan 政策的重心从之前的单纯关注居民生活品质提升拓展到带动产业及地区发展，即通过各行业、地区与 ICT 的深化融合，进而实现经济增长的目的。产业 xICT 是通过 ICT 的有效应用，实现产业变革，推动新应用的发展；地区 xICT 是通过 ICT 以电子方式联系人与地区社会，促进地方经济发展；生活（人）xICT 是有效应用 ICT 达到生活方式变革，实现无所不在的网络社会环境。

2009 年 7 月，日本 IT 战略本部颁布了日本新一代的信息化战略——i-Japan 战略。为了让数字信息技术融入每一个角落，首先将政策目标聚焦在三大公共事业（电子化政府治理、医疗健康信息服务、教育与人才培育），提出到 2015 年，通过数字技术达到“新的行政改革”，使行政流程简化、效率化、标准化、透明化，同时推动电子病历、远程医疗、远程教育等应用的发展。

1.2.2 我国物联网工程技术发展历程及趋势

1. 我国物联网工程技术发展回顾

中国科学院早在 1999 年就启动了传感网研究，与其他国家相比具有同发优势。中国科学院组成了 2000 多人的团队，先后投入数亿元，在无线智能传感器网络通信技术、微型传感器、传感器终端机、移动基站等方面取得重大进展，目前已拥有从材料、技术、器件、系统到网络的完整产业链。在世界传感网领域，中国与德国、美国、韩国一起成为国际标准制定的主导国。业内专家表示，掌握“物联网”的世界话语权，不仅仅体现在技术领先，更在于我国是世界上少数能实现产业化的国家之一。这使我国在信息技术领域迎头赶上甚至占领产业价值链的高端成为可能。

2009 年 8 月，时任总理温家宝在视察中科院无锡物联网产业研究所时，对于物联网应用也提出了一些看法和要求。温总理提出“感知中国”以后，物联网被正式列为国家五大新兴战略性产业之一，写入政府工作报告。物联网在中国受到了全社会极大的关注，其受关注程度是在美国、欧盟以及其他各国不可比拟的。

2010 年，中华人民共和国国家发展与改革委员会、工业和信息化部等部委会同有关部门，在新一代信息技术方面开展研究，以形成支持新一代信息技术的一些新政策措施，从而推动我国经济的发展。物联网被列为七大战略新兴产业之一，是引领中国经济华丽转身的主要力量，物联网产业规模将达到 6000 亿元。研究机构 forrester 预测十年内物联网将成为一个上万亿元产业，规模比互联网大 30 倍。物联网作为一个新经济增长点的战略新兴产业，具有良好的市场效益。

2014 年 2 月，全国物联网工作会议提出，物联网是新一代信息网络技术的高度集成和综合运用，是新一轮产业革命的重要方向和推动力量，对于培育新的经济增长点、推动产业结构转型升级、提升社会管理和公共服务的效率和水平具有重要意义。发展物联网必须遵循产业发展规律，正确处理好市场与政府、全局与局部、创新与合作、发展与安全的关系。要按照“需求牵引、重点跨越、支撑发展、引领未来”的原则，着力突

破核心芯片、智能传感器等一批核心关键技术；着力在工业、农业、节能环保、商贸流通、能源交通、社会事业、城市管理、安全生产等领域，开展物联网应用示范和规模化应用；着力统筹推动物联网整个产业链协调发展，形成上下游联动、共同促进的良好格局；着力加强物联网安全保障技术、产品研发和法律法规制度建设，提升信息安全保障能力；着力建立健全多层次多类型的人才培养体系，加强物联网人才队伍建设。

2016 年 12 月 18 日，工业和信息化部下发信息通信行业发展规划（2016—2020 年）的通知，相关部门制定和实施 10 个物联网发展专项行动计划，加强技术研发、标准研制和应用示范等工作，积极组织实施重大应用示范工程，推进示范区和产业基地建设。中央财政连续四年安排物联网发展专项资金，物联网被纳入高新技术企业认定和支持范围。各地区加大政策支持力度，设立专项资金，多层次、全方位推进地方物联网发展。

一是产业体系初步建成。已形成包括芯片、元器件、设备、软件、系统集成、运营、应用服务在内的较为完整的物联网产业链。物联网产业已形成环渤海、长三角、泛珠三角以及中西部地区四大区域聚集发展的格局，无锡、重庆、杭州、福州等新型工业化产业示范基地建设初见成效。涌现出一大批具备较强实力的物联网领军企业，互联网龙头企业成为物联网发展的重要新兴力量。物联网产业公共服务体系日渐完善，初步建成一批共性技术研发、检验检测、投融资、标识解析、成果转化、人才培训、信息服务等公共服务平台。

二是创新成果不断涌现。在芯片、传感器、智能终端、中间件、架构、标准制定等领域取得一大批研究成果。光纤传感器、红外传感器技术达到国际先进水平，超高频智能卡、微波无源无线射频识别（RFID）、北斗芯片技术水平大幅提升，微机电系统（MEMS）传感器实现批量生产，物联网中间件平台、多功能便捷式智能终端研发取得突破。一批实验室、工程中心和大学科技园等创新载体已经建成并发挥良好的支撑作用。物联网标准体系加快建立，已完成 200 多项物联网基础共性和重点应用国家标准立项。我国主导完成多项物联网国际标准，国际标准制定话语权明显提升。

三是应用示范持续深化。在工业、农业、能源、物流等行业的提质增效、转型升级中作用明显，物联网与移动互联网融合推动家居、健康、养老、娱乐等民生应用创新空前活跃，在公共安全、城市交通、设施管理、管网监测等智慧城市领域的应用显著提升了城市管理智能化水平。物联网应用规模与水平不断提升，在智能交通、车联网、物流追溯、安全生产、医疗健康、能源管理等领域已形成一批成熟的运营服务平台和商业模式，高速公路电子不停车收费系统（ETC）实现全国联网，部分物联网应用达到了千万级用户规模。

2. 发展思路和目标

我国已经进入经济新常态下创新驱动、形成发展新动能的关键时期，必须牢牢把握物联网新一轮生态布局的战略机遇，大力发展物联网技术和应用，加快构建具有国际竞争力的产业体系，深化物联网与经济社会融合发展，支撑制造强国和网络强国建设。

1）发展思路

贯彻落实《国务院关于推进物联网有序健康发展的指导意见》《中国制造 2025》《国务院关于积极推进“互联网 +”行动的指导意见》和《关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》，以促进物联网规模化应用为主线，以创新为动力，以产业链开放协作为重点，以保障安全为前提，加快建设物联网泛在基础设施、应用服务平台和数据共享服务平台，持续优化发展环境，突破关键核心技术，健全标准体系，创新服务模式，构建有国际竞争力的物联网产业生态，为经济增长方式转变、人民生活质量提升以及经济社会可持续发展提供有力支撑。

一是坚持创新驱动。强化创新能力建设，完善公共服务体系，加快建立以企业为主体、政产学研用相结合的技术创新体系。加强面向智能信息服务的关键技术研发及产业化，大力发展新技术、新产品、新商业模式和新业态，加快打造智慧产业和智能化信息服务。

二是坚持应用牵引。面向经济社会发展的重大需求，以重大应用示范为先导，统筹部署，聚焦重点领域和关键环节，大力推进物联网规模应用，带动物联网关键技术突破和产业规模化发展，提升人民生活质量，增强社会管理能力，促进产业转型升级。

三是坚持协调发展。充分发挥物联网发展部际联席会议制度作用，加强政策措施的协同，促进物联网与相关行业之间的深度融合。加强资源整合，突出区域特色，完善产业布局，避免重复建设，形成协调发展的格局。

四是坚持安全可控。建立健全物联网安全保障体系，推进关键安全技术研发和产业化，增强物联网基础设施、重大系统、重要信息的安全保障能力，强化个人信息安全，构建泛在安全的物联网。

2）发展目标

到 2020 年，我国具有国际竞争力的物联网产业体系基本形成，包含感知制造、网络传输、智能信息服务在内的总体产业规模突破 1.5 万亿元，智能信息服务的比重大幅提升。推进物联网感知设施规划布局，公众网络 M2M 连接数突破 17 亿。物联网技术研发水平和创新能力显著提高，适应产业发展的标准体系初步形成，物联网规模应用不断拓展，泛在安全的物联网体系基本成型。

一是技术创新。产学研用结合的技术创新体系基本形成，企业研发投入不断加大，物联网架构、感知技术、操作系统和安全技术取得明显突破，网络通信领域与信息处理领域的关键技术达到国际先进水平，核心专利授权数量明显增加。

二是标准完善。研究制定 200 项以上国家和行业标准，满足物联网规模应用和产业化需求的标准体系逐步完善，物联网基础共性标准、关键技术标准和重点应用标准基本确立，我国在物联网国际标准领域话语权逐步提升。

三是应用推广。在工业制造和现代农业等行业领域、智能家居和健康服务等消费领域推广一批集成应用解决方案，形成一批规模化特色应用。在智慧城市建设和管理领域形成跨领域的数据开放和共享机制，发展物联网开环应用。

四是产业升级。打造 10 个具有特色的产业集聚区，培育和发展 200 家左右产值超

过10亿元的骨干企业，以及一批“专精特新”的中小企业和创新载体，建设一批覆盖面广、支撑力强的公共服务平台，构建具有国际竞争力的产业体系。

五是安全保障。在物联网核心安全技术、专用安全产品研发方面取得重要突破，制定一批国家和行业标准。物联网安全测评、风险评估、安全防范、应急响应等机制基本建立，物联网基础设施、重大系统、重要信息的安保能力大大增强。

1.3　我国电力物联网工程技术发展历程及主要任务

我国电力物联网工程技术应用历程及发展趋势、国家推进物联网工程技术发展的主要任务是本节介绍的主要内容。

1.3.1　我国电力物联网工程技术发展历程及趋势

1. 电力物联网工程技术发展历程

电力物联网融合了通信、信息、传感、自动化等技术，应用于智能电网是信息通信技术发展到一定阶段的结果，其全面感知及IP互联的特征将有效整合信息通信和电力系统基础设施资源，提高电力系统信息化管理水平，改善电力系统现有基础设施利用效率。

2009年，我国正式提出推进物联网产业发展的构想，激励性财政政策、重大科技项目相继出台。同年，国家电网公司提出智能电网发展战略，时间及路线图随之确立。智能电网的发展对物联网技术的需求，又进一步拓宽了物联网的发展道路。物联网技术中心成功申报国家级科技项目，开启了电网大规模应用物联网技术的序幕。回想这几年，我国电力物联网技术及应用的发展速度十分惊人。

到2015年，电力物联网传感器相关市场规模已经达到40多亿元。从最初对物联网技术的简单应用，到在输、变、配、用各个领域开花结果，不过短短几年，这显示出物联网技术发展的勃勃生机，更预示着物联网技术应用能为智能电网建设带来无穷益处。

在电力信息化不断推进的过程中，物联网技术用于智能移动现场作业，应用系统对巡检、抢修工单、两票、抄表、GIS数据采集等移动现场作业的信息化、智能化水平不断提出新的要求，亟须出现更加智能、便捷的信息感知和分析手段。原本通过现场人工记录数据并录入系统的工作，如今更习惯于使用移动终端完成，这意味着利用移动终端和智能传感开展电力现场业务，已成为一种重要的工作方式。

在这样的背景下，结合移动GIS、传感器网络、GPS/北斗技术，通过感知标签实现现场设备精确识别和资产管理，实现巡视、抢修、两票等现场作业精细化管理，指导

班组人员执行标准化和规范化的工作流程，从而完成现代化、信息化、自动化、智能化的现场移动作业。

物联网技术逐步广泛应用。例如，电网防灾减灾与应急指挥系统利用具有 GPS 定位和通信模块功能的移动终端，提供电网故障点定位和抢修人员、车辆的实时跟踪，辅助应急指挥。又如，新型电力物资仓储配送管理系统利用感知标签、GPS/ 北斗、GIS 技术，实现电力物资智能高效入库、盘点、出库、配送管理。

2012 年初，在国网公司组织推动下，电力物联网应用试点工程开始建设，选择辽宁、宁夏两地实施试点工程。通过试点工程对相关物联网技术进行验证，形成可推广、可复制、技术领先、覆盖整个智能电网的电力物联网应用体系。在试点工程建设中，根据电力物联网总体架构，基于统一制定的标准规范，形成电力物联网实际应用场景方案，开展物联网综合应用与业务集成。试点内容包括变电站智能化管理，配电线路状态和预警技术，通信机房环境监测与资产管理等。通过统一数据服务实现与现有业务系统的应用集成，实现各类传感器采集的数据高效融合与共享、交互。通过智能感知技术对环网柜、分支箱、配电站、配电变压器等设备状态信息进行实时监测，相当于为这些设备安装了“千里眼”，有助于我们提出低成本、高可靠、易实施的解决方案。

目前，电力物联网技术及成果已应用于发、输、变、配、用各环节，为电力生产、输送、消费、管理提供重要技术支撑。有关专家表示，电力物联网的广泛应用可以全方位提高智能电网各个环节的信息感知的深度和广度，提升电网的安全运行水平，以及电网信息化、自动化、互动化与运营管理水平。

2. 电力物联网工程技术发展趋势

1）输配电调度

在输配电调度方面，通过物联网技术的应用，通过遍布电网的传感器及时感知电网内部的运行情况，反馈给调度系统全局系统电能的损耗情况，并能够辅助调度人员对系统的运行方式，在保证安全运行的前提下优化网络的运行，提高输电环节的智能化水平和可靠性程度，节省能源消耗。

2）配电网现场作业管理

在配电网现场作业管理方面，物联网技术的应用主要包括身份识别、电子标签与电子工作票、环境信息监测、远程监控等。搭建配电网现场作业管理系统，实现确认对象状态，匹配工作程序和记录操作过程的功能，减少误操作风险和安全隐患，真正实现调度指挥中心与现场作业人员的实时互动。

利用物联网技术，可以提高对配电线路等电网设备的感知能力，并很好地结合信息通信网络，实现联合处理、数据传输、综合判断等功能，提高配电网的技术水平和智能化水平，配电线路状态监测是其重要应用环节之一，主要包括气象环境监测、线路微风震动等，这些都需要物联网技术的支持，包括传感器技术、智能分析和处理技术、数据融合技术及可靠通信技术。

利用物联网技术可提高配电网设备的自动化和数字化水平、设备检修水平及自动诊断水平，通过物联网可对设备环境状态信息、机械状态信息、运行状态信息进行实时监测和预警诊断，提前做好故障预判、设备检修等工作。由于各种原因，电力设备会发生发热现象，设备各部位温度是表征设备运行是否处于正常运行状态的一个重要参数，采用无线传感网络技术，可实现对设备温度的实时监控。

3）安全监控与继电保护

在安全监控与继电保护方面，通过物联网技术的应用，可以实时感知在外界气象条件下，杆塔、线路等运行部件的受力情况，将信息及时反馈。物联网技术可用于电力杆塔或重要设施的全方位防护，通过在杆塔、配电线路或重要设备上部署各种智能传感器和感知设备，组成多传感器协同感知的物联网网络，实现目标识别、侵害行为的有效分类和区域定位，从而达到对配网设备全方位防护的目标。在恶劣的气象条件下，在杆塔、线路受力接近临界状态的情况下实时报警，并通过杆塔上调节装路的动作来缓解受力严重部位的情况，等待工作人员更换。甚至，在覆冰情况下，自动感知冰层的厚度，进行危害评估，并自动融冰，增强了抵御灾害的能力。

实时感知电网内部的运行状况，如电压、电流的变化，预测故障的发生，通过网络重构，改变潮流的分布将故障遏制在萌芽状态，并实时将信息反馈给调度中心。系统具有“自愈”功能，在不用人员赶到现场的情况下，通过工业现场总线技术和软件技术，使系统迅速恢复到正常运行状态。

1.3.2 国家推进物联网工程技术发展的主要任务

1. 强化产业生态布局，加快构建具有核心竞争力的产业生态体系

以政府为引导，以企业为主体，集中力量，构建基础设施泛在安全、关键核心技术可控、产品服务先进、大中小企业梯次协同发展、物联网与移动互联网、云计算和大数据等新业态融合创新的生态体系，提升我国物联网产业的核心竞争力。推进物联网感知设施规划布局，加快升级通信网络基础设施，积极推进低功耗广域网技术的商用部署，支持5G技术研发和商用实验，促进5G与物联网垂直行业应用深度融合。建立安全可控的标识解析体系，构建泛在安全的物联网。突破操作系统、核心芯片、智能传感器、低功耗广域网、大数据等关键核心技术。在感知识别和网络通信设备制造、运营服务和信息处理等重要领域，发展先进产品和服务，打造一批优势品牌。鼓励企业开展商业模式探索，推广成熟的物联网商业模式，发展物联网、移动互联网、云计算和大数据等新业态融合创新。支持互联网、电信运营、芯片制造、设备制造等领域龙头企业以互联网平台化服务模式整合感知制造、应用服务等上下游产业链，形成完整解决方案并开展服务运营，推动相关技术、标准和产品加速迭代、解决方案不断成熟，成本不断下降，促进应用实现规模化发展。培育200家左右技术研发能力较强、产值超10亿元的骨干企业，

大力扶持一批“专精特新”中小企业，构筑大中小企业协同发展产业生态体系，形成良性互动的发展格局。

加快物联网产业集聚。继续支持无锡国家传感网创新示范区的建设发展，提升示范区自主创新能力、产业发展水平和应用示范作用，充分发挥无锡作为国家示范区先行先试的引领带动作用，打造具有全球影响力的物联网示范区。加快推动重庆、杭州、福州等物联网新型工业化产业示范基地的建设提升和规范发展，增强产业实力和辐射带动作用。结合“一带一路”、长江经济带、京津冀协同发展等区域发展战略，加强统筹规划，支持各地区立足自身优势，推进差异化发展，加强物联网特色园区建设，加快形成物联网产业集群，打造一批具有鲜明特色的物联网产业集聚区。优化产业集聚区发展环境，完善对产业集聚区的科学、规范管理，推动产业集聚区向规模化、专业化、协作化方向发展，促进集聚区之间的资源共享、优势互补，推动物联网产业有序健康发展。

推动物联网创业创新。完善物联网创业创新体制机制，加强政策协同与模式创新结合，营造良好创业创新环境。总结复制推广优秀的物联网商业模式和解决方案，培育发展新业态新模式。加强创业创新服务平台建设，依托各类孵化器、创业创新基地、科技园区等载体建设物联网创客空间，提升物联网创业创新孵化、支撑服务能力。鼓励和支持有条件的大型企业发展第三方创业创新平台，建立基于开源软硬件的开发社区，设立产业创投基金，通过开放平台、共享资源和投融资等方式，推动各类线上、线下资源的聚集、开放和共享，提供创业指导、团队建设、技术交流、项目融资等服务，带动产业上下游中小企业进行协同创新。引导社会资金支持创业创新，推动各类金融机构与物联网企业进行对接和合作，搭建产业新型融资平台，不断加大对创业创新企业的融资支持，促进创新成果产业化。鼓励开展物联网创客大赛，激发创新活力，拓宽创业渠道。引导各创业主体在设计、制造、检测、集成、服务等环节开展创意和创新实践，促进形成创新成果并加强推广，培养一批创新活力型企业快速发展。

2. 完善技术创新体系，加快协同创新体系建设

以企业为主体，加快构建政产学研用结合的创新体系。统筹衔接物联网技术研发、成果转化、产品制造、应用部署等环节工作，充分调动各类创新资源，打造一批面向行业的创新中心、重点实验室等融合创新载体，加强研发布局和协同创新。继续支持各类物联网产业和技术联盟发展，引导联盟加强合作和资源共享，加强以技术转移和扩散为目的的知识产权管理处置，推进产需对接，有效整合产业链上下游协同创新。支持企业建设一批物联网研发机构和实验室，提升创新能力和水平。鼓励企业与高校、科技机构对接合作，畅通科研成果转化渠道。整合利用国际创新资源，支持和鼓励企业开展跨国兼并重组，与国外企业成立合资公司进行联合开发，引进高端人才，实现高水平高起点上的创新。

突破关键核心技术。研究低功耗处理器技术和面向物联网应用的集成电路设计工艺，开展面向重点领域的高性能、低成本、集成化、微型化、低功耗智能传感器技术和产品

研发，提升智能传感器设计、制造、封装与集成、多传感器集成与数据融合及可靠性领域技术水平。研究面向服务的物联网网络体系架构、通信技术及组网等智能传输技术，加快发展 NB-IoT 等低功耗广域网技术和网络虚拟化技术。研究物联网感知数据与知识表达、智能决策、跨平台和能力开放处理、开放式公共数据服务等智能信息处理技术，支持物联网操作系统、数据共享服务平台的研发和产业化，进一步完善基础功能组件、应用开发环境和外围模块。

发展支持多应用、安全可控的标识管理体系。加强物联网与移动互联网、云计算、大数据等领域的集成创新，重点研发满足物联网服务需求的智能信息服务系统及其关键技术。强化各类知识产权的积累和布局。

3. 关键技术突破工程

1）传感器技术

（1）核心敏感元件：试验生物材料、石墨烯、特种功能陶瓷等敏感材料，抢占前沿敏感材料领域先发优势；强化硅基类传感器敏感机理、结构、封装工艺的研究，加快各类敏感元器件的研发与产业化。

（2）传感器集成化、微型化、低功耗：开展同类和不同类传感器、配套电路和敏感元件集成等技术和工艺研究；支持基于 MEMS 工艺、薄膜工艺技术形成不同类型的敏感芯片，开展各种不同结构形式的封装和封装工艺创新；支持具有外部能量自收集、掉电休眠自启动等能量储存与功率控制的模块化器件研发。

（3）重点应用领域：支持研发高性能惯性、压力、磁力、加速度、光线、图像、温湿度、距离等传感器产品和应用技术，积极攻关新型传感器产品。

2）体系架构共性技术

持续跟踪研究物联网体系架构演进趋势，积极推进现有不同物联网网络架构之间的互联互通和标准化，重点支持可信任体系架构、体系架构在网络通信、数据共享等方面的互操作技术研究，加强资源抽象、资源访问、语义技术以及物联网关键实体、接口协议、通用能力的组件技术研究。

3）操作系统

（1）用户交互型操作系统：推进移动终端操作系统向物联网终端移植，重点支持面向智能家居、可穿戴设备等重点领域的物联网操作系统研发。

（2）实时操作系统：重点支持面向工业控制、航空航天等重点领域的物联网操作系统研发，开展各类适应物联网特点的文件系统、网络协议栈等外围模块以及各类开发接口和工具研发，支持企业推出开源操作系统并开放内核开发文档，鼓励用户对操作系统的二次开发。

4）物联网与移动互联网、大数据融合关键技术

面向移动终端，重点支持适用于移动终端的人机交互、微型智能传感器、MEMS 传感器集成、超高频或微波 RFID、融合通信模组等技术研究。面向物联网融合应用，重

点支持操作系统、数据共享服务平台等技术研究。突破数据采集交换关键技术，突破海量高频数据的压缩、索引、存储和多维查询关键技术，研发大数据流计算、实时内存计算等分布式基础软件平台。结合工业、智能交通、智慧城市等典型应用场景，突破物联网数据分析挖掘和可视化关键技术，形成专业化的应用软件产品和服务。

4. 构建完善标准体系

完善标准化顶层设计。建立健全物联网标准体系，发布物联网标准化建设指南。进一步促进物联网国家标准、行业标准、团体标准的协调发展，以企业为主体开展标准制定，积极将创新成果纳入国际标准，加快建设技术标准试验验证环境，完善标准化信息服务。

加强关键共性技术标准制定。加快制定传感器、仪器仪表、射频识别、多媒体采集、地理坐标定位等感知技术和设备标准。组织制定无线传感器网络、低功耗广域网、网络虚拟化和异构网络融合等网络技术标准。制定操作系统、中间件、数据管理与交换、数据分析与挖掘、服务支撑等信息处理标准。制定物联网标识与解析、网络与信息安全、参考模型与评估测试等基础共性标准。

推动行业应用标准研制。大力开展车联网、健康服务、智能家居等产业急需应用标准的制定，持续推进工业、农业、公共安全、交通、环保等应用领域的标准化工作。加强组织协调，建立标准制定、实验验证和应用推广联合工作机制，加强信息交流和共享，推动标准化组织联合制定跨行业标准，鼓励发展团体标准。支持联盟和龙头企业牵头制定行业应用标准。

5. 推动物联网规模应用

大力发展物联网与制造业融合应用。围绕重点行业制造单元、生产线、车间、工厂建设等关键环节进行数字化、网络化、智能化改造，推动生产制造全过程、全产业链、产品全生命周期的深度感知、动态监控、数据汇聚和智能决策。通过对现场级工业数据的实时感知与高级建模分析，形成智能决策与控制。完善工业云与智能服务平台，提升工业大数据开发利用水平，实现工业体系个性化定制、智能化生产、网络化协同和服务化转型，加快智能制造试点示范，开展信息物理系统、工业互联网在离散与流程制造行业的广泛部署应用，初步形成跨界融合的制造业新生态。

加快物联网与行业领域的深度融合。面向农业、物流、能源、环保、医疗等重要领域，组织实施行业重大应用示范工程，推进物联网集成创新和规模化应用，支持物联网与行业深度融合。实施农业物联网区域试验工程，推进农业物联网应用，提高农业智能化和精准化水平。深化物联网在仓储、运输、配送、港口等物流领域的规模应用，支撑多式联运，构建智能高效的物流体系。加大物联网在污染源监控和生态环境监测等方面的推广应用，提高污染治理和环境保护水平。深化物联网在电力、油气、公共建筑节能等能源生产、传输、存储、消费等环节的应用，提升能源管理智能化和精细化水平，提高能源利用效率。推动物联网技术在药品流通和使用、病患看护、电子病历管理等领域

的应用，积极推动远程医疗、临床数据应用示范等医疗应用。

推进物联网在消费领域的应用创新。鼓励物联网技术创新、业务创新和模式创新，积极培育新模式新业态，促进车联网、智能家居、健康服务等消费领域应用快速增长。加强车联网技术创新和应用示范，发展车联网自动驾驶、安全节能、地理位置服务等应用。推动家庭安防、家电智能控制、家居环境管理等智能家居应用的规模化发展，打造繁荣的智能家居生态系统。发展社区健康服务物联网应用，开展基于智能可穿戴设备远程健康管理、老人看护等健康服务，推动健康大数据创新应用和服务发展。

深化物联网在智慧城市领域的应用。推进物联网感知设施规划布局，结合市政设施、通信网络设施以及行业设施建设，同步部署视频采集终端、RFID 标签、多类条码、复合传感器节点等多种物联网感知设施，深化物联网在地下管网监测、消防设施管理、城市用电平衡管理、水资源管理、城市交通管理、电子政务、危化品管理和节能环保等重点领域的应用。建立城市级物联网接入管理与数据汇聚平台，推动感知设备统一接入、集中管理和数据共享利用。建立数据开放机制，制定政府数据共享开放目录，推进数据资源向社会开放，鼓励和引导企业、行业协会等开放和交易数据资源，深化政府数据和社会数据融合利用。支持建立数据共享服务平台，提供面向公众、行业和城市管理的智能信息服务。

6. 重点领域应用示范工程

1）智能制造

面向供给侧结构性改革和制造业转型升级发展需求，发展信息物理系统和工业互联网，推动生产制造与经营管理向智能化、精细化、网络化转变。通过 RFID 等技术对相关生产资料进行电子化标识，实现生产过程及供应链的智能化管理，利用传感器等技术加强生产状态信息的实时采集和数据分析，提升效率和质量，促进安全生产和节能减排。通过在产品中预置传感、定位、标识等能力，实现产品的远程维护，促进制造业服务化转型。

2）智慧农业

面向农业生产智能化和农产品流通管理精细化需求，广泛开展农业物联网应用示范。实施基于物联网技术的设施农业和大田作物耕种精准化、园艺种植智能化、畜禽养殖高效化、农副产品质量安全追溯、粮食与经济作物储运监管、农资服务等应用示范工程，促进形成现代农业经营方式和组织形态，提升我国农业现代化水平。

3）智能家居

面向公众对家居安全性、舒适性、功能多样性等需求，开展智能养老、远程医疗和健康管理、儿童看护、家庭安防、水、电、气智能计量、家庭空气净化、家电智能控制、家务机器人等应用，提升人民生活质量。通过示范对底层通信技术、设备互联及应用交互等方面进行规范，促进不同厂家产品的互通性，带动智能家居技术和产品整体突破。

4）智能交通和车联网

推动交通管理和服务智能化应用，开展智能航运服务、城市智能交通、汽车电子标

识、电动自行车智能管理、客运交通和智能公交系统等应用示范，提升指挥调度、交通控制和信息服务能力。开展车联网新技术应用示范，包括自动驾驶、安全节能、紧急救援、防碰撞、非法车辆查缉、打击涉车犯罪等应用。

5）智慧医疗和健康养老

推动物联网、大数据等技术与现代医疗管理服务结合，开展物联网在药品流通和使用、病患看护、电子病历管理、远程诊断、远程医学教育、远程手术指导、电子健康档案等环节的应用示范。积极推广社区医疗＋三甲医院的医疗模式。利用物联网技术，实现对医疗废物追溯，对问题药品快速跟踪和定位，降低监管成本。建立临床数据应用中心，开展基于物联网智能感知和大数据分析的精准医疗应用。开展智能可穿戴设备远程健康管理、老人看护等健康服务应用，推动健康大数据创新应用和服务发展。

6）智慧节能环保

推动物联网在污染源监控和生态环境监测领域的应用，开展废物监管、综合性环保治理、水质监测、空气质量监测、污染源治污设施工况监控、进境废物原料监控、林业资源安全监控等应用。推动物联网在电力、油气等能源生产、传输、存储、消费等环节的应用，提升能源管理智能化和精细化水平。建立城市级建筑能耗监测和服务平台，对公共建筑和大型楼宇进行能耗监测，实现建筑用能的智能控制和精细管理。鼓励建立能源管理平台，针对大型产业园区开展合同能源管理服务。

7. 完善公共服务体系

打造物联网综合公共服务平台。针对物联网产业公共服务体系做好统筹协调工作，充分利用和整合各区域、各行业已有的物联网相关产业公共服务资源，引导多种投资参与物联网公共服务能力建设，形成资源共享、优势互补的公共服务平台体系。依托现有实验室、工程中心、企业技术中心、大学科技园等各类创新载体，整合创新资源，加强开源社区建设，促进资源流动与开放共享，提供物联网技术研发、标识解析、标准测试、检验检测等公共技术服务。

充分发挥物联网各类联盟的作用，加强产业链上下游协同，促进产需对接和成果转化。鼓励龙头企业强化产业生态布局，提供第三方开发能力和解决方案，带动物联网中小企业协同发展。继续推进科技金融、投融资担保、政策咨询、知识产权服务、成果转化、人才培养等综合公共服务平台建设，认定一批物联网公共服务示范平台。探索建立公共服务平台多方参与、合作共赢的商业模式，推动公共服务平台市场化、专业化运营，实现平台自我造血，促进公共服务健康可持续发展。

加强物联网统计监测和发展评估。建立物联网统计监测平台，完善统计指标体系。加强产业运行分析，把握产业发展规律，优化产业相关政策，指导和统筹全国物联网发展。建立物联网发展评估体系，对各地区物联网产业发展进行分析评估，为推动物联网产业有序健康发展提供支撑。

8. 提升安全保障能力

推进关键安全技术研发和产业化。引导信息安全企业与物联网技术研发与应用企业、科研机构、高校合作，加强物联网架构安全、异构网络安全、数据安全、个人信息安全等关键技术和产品的研发，强化安全标准的研制、验证和实施，促进安全技术成果转化和产业化，满足公共安全体系中安全生产、防灾减灾救灾、社会治安防控、突发事件应对等方面对物联网技术和产品服务保障的要求。

建立健全安全保障体系。加强物联网安全技术服务平台建设，大力发展第三方安全评估和保障服务。建立健全物联网安全防护制度，开展物联网产品和系统安全测评与评估。对工业、能源、电力、交通等涉及公共安全和基础设施的物联网应用，强化对其系统解决方案、核心设备与运营服务的测试和评估，研究制定“早发现、能防御、快恢复”的安全保障机制，确保重要系统的安全可控。对医疗、健康、养老、家居等物联网应用，加强相关产品和服务的评估测评和监督管理，强化个人信息保护。

1.4 电力物联网系统工程面临的新形势与新挑战

我国电力物联网工程技术发展面临的形势、电力物联网工程技术面临的挑战、电力物联网工程技术主要研究方向是本节介绍的主要内容。

1.4.1 电力物联网工程技术发展面临的新形势

1. 电力物联网工程技术应用发展存在的主要问题

我国物联网产业已拥有一定规模，设备制造、网络和应用服务具备较高水平，技术研发和标准制定取得突破，物联网与行业融合发展成效显著。但仍要看到我国物联网产业发展面临的瓶颈和深层次问题依然突出。

一是产业生态竞争力不强，芯片、传感器、操作系统等核心基础能力依然薄弱，高端产品研发能力不强，原始创新能力与发达国家差距较大。

二是产业链协同性不强，缺少整合产业链上下游资源、引领产业协调发展的龙头企业。

三是标准体系仍不完善，一些重要标准研制进度较慢，跨行业应用标准制定难度较大。

四是物联网与行业融合发展有待进一步深化，成熟的商业模式仍然缺乏，部分行业存在管理分散、推动力度不够的问题，发展新技术新业态面临跨行业体制机制障碍。

五是网络与信息安全形势依然严峻，设施安全、数据安全、个人信息安全等问题亟

待解决。

2. 我国物联网技术应用发展面临的形势

我国物联网已经加速进入“跨界融合、集成创新和规模化发展”的新阶段，与我国新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化建设深度交汇，面临广阔的发展前景。另一方面，我国物联网发展又面临国际竞争的巨大压力，核心产品全球化、应用需求本地化的趋势更加凸显，机遇与挑战并存。

1）万物互联时代开启

物联网将进入万物互联发展新阶段，智能可穿戴设备、智能家电、智能网联汽车、智能机器人等数以万亿计的新设备将接入网络，形成海量数据，应用呈现爆发性增长，促进生产生活和社会管理方式进一步向智能化、精细化、网络化方向转变，经济社会发展更加智能、高效。第五代移动通信技术（5G）、窄带物联网（NB-IoT）等新技术为万物互联提供了强大的基础设施支撑能力。万物互联的泛在接入、高效传输、海量异构信息处理和设备智能控制，以及由此引发的安全问题等，都对发展物联网技术和应用提出了更高要求。

2）应用需求全面升级

物联网万亿级的垂直行业市场正在不断兴起。制造业成为物联网的重要应用领域，相关国家纷纷提出发展“工业互联网”和“工业 4.0”，我国提出建设制造强国、网络强国，推进供给侧结构性改革，以信息物理系统（CPS）为代表的物联网智能信息技术将在制造业智能化、网络化、服务化等转型升级方面发挥重要作用。车联网、健康、家居、智能硬件、可穿戴设备等消费市场需求更加活跃，驱动物联网和其他前沿技术不断融合，人工智能、虚拟现实、自动驾驶、智能机器人等技术不断取得新突破。智慧城市建设成为全球热点，物联网是智慧城市构架中的基本要素和模块单元，已成为实现智慧城市“自动感知、快速反应、科学决策”的关键基础设施和重要支撑。

3）产业生态竞争日趋激烈

物联网成为互联网之后又一个产业竞争制高点，生态构建和产业布局正在全球加速展开。国际企业利用自身优势加快互联网服务、整机设备、核心芯片、操作系统、传感器件等产业链布局，操作系统与云平台一体化成为掌控生态主导权的重要手段，工业制造、车联网和智能家居成为产业竞争的重点领域。我国电信、互联网和制造企业也加大力度整合平台服务和产品制造等资源，积极构建产业生态体系。

1.4.2 电力物联网工程技术面临的新挑战

1. 电力物联网工程技术发展现状

物联网对于电网来说，并非一个全新的事物，相关技术已经“渗入”智能电网的

各个环节，用于信息采集、状态监测、回馈控制等，全方位提高智能电网各环节的信息感知深度和广度。2014 年，国家工信部网站发布了《工业和信息化部 2014 年物联网工作要点》，从突破核心关键技术、推进应用示范等多方面进行任务细分，并提出支持政策。这对物联网发展无疑是利好消息，甚至可能成为促进智能电网发展的一道推力。

物联网工程技术成为了电网公司信息化规划的重要组成部分。目前，已经在小范围对物联网进行了试点研究和应用。例如，在智能小区用电管理方面，通过智能插座以及无线组网的方式对家庭用电设备用电情况进行统计，并实现对全屋家电的无线遥控；在高压变电站，实现了无线自组网的变压器温度实时监测，从而减少变压器因温度过高引起的故障；基于现实增强技术（AR）的现场作业管理，通过谷歌眼镜实时进行设备识别和接收设备信息，并支持远程技术支援，从而方便班组检修。同时，还尝试将物联网技术与无线专网传输、大数据等技术结合，进一步实现电网精细化管理。电力物联网的主要应用场景如图 1-1 所示。

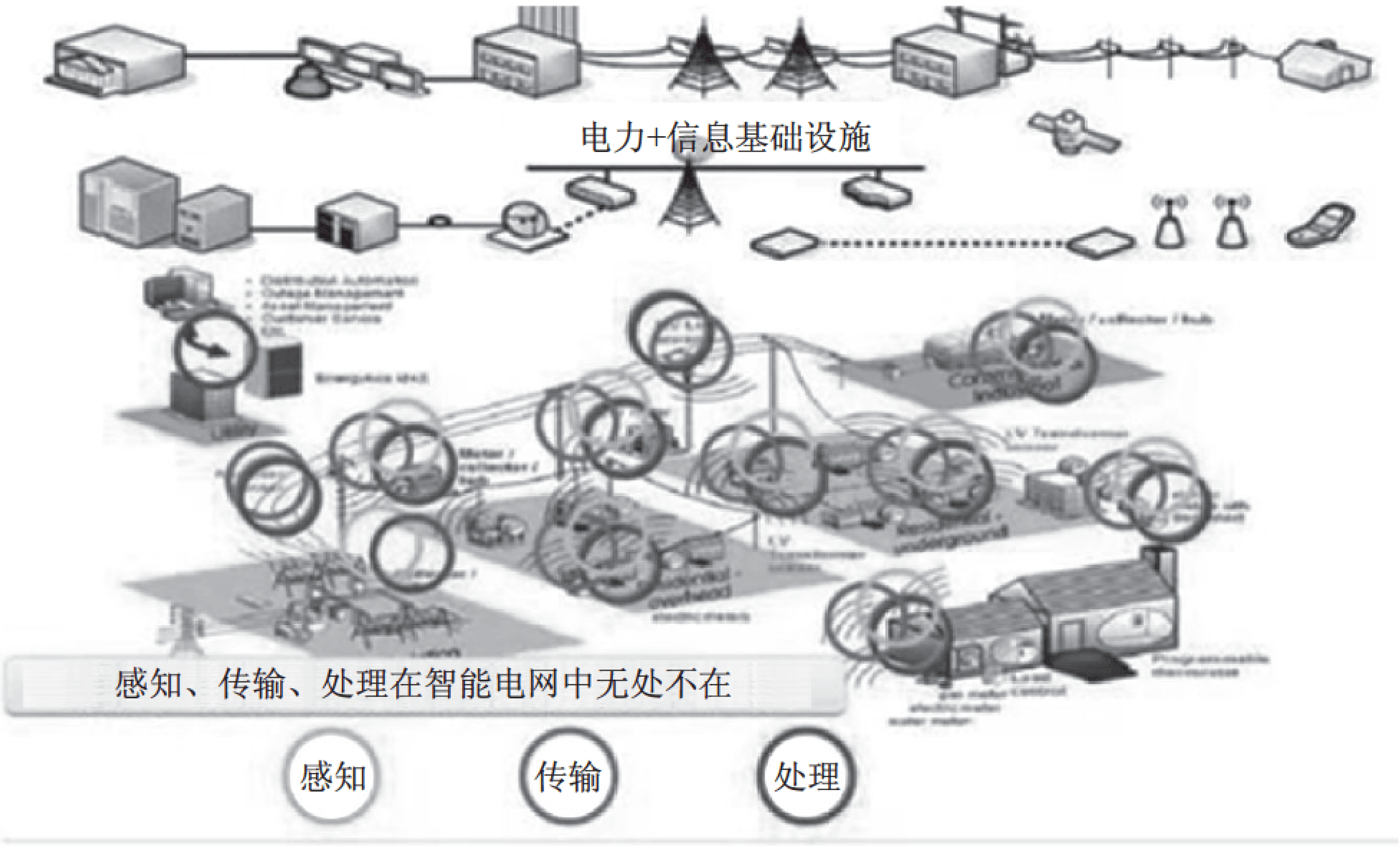


图 1-1　电力物联网的主要应用场景

2. 电力物联网分层结构

电力物联网可以提供对电网基础运行业务和企业现代化运营模式的全方位支撑，重点围绕电力物联网感知层、网络层及应用层展开。感知层重点研究统一的信息模型，具体包括统一标识、统一语义、统一数据表达格式、安全防护等，形成相关标准规范，研发系列传感器、传感芯片、标准化通信模块及信息格式转换设备等。网络层重点研究并制定统一通信规约，研发标准化通信芯片、无线通信装置、骨干网通信装置、标准化接

入网关、网管系统等，引入多种融合通信技术，丰富通信手段，解决信息中远距离可靠传输问题。应用层重点研究基于 SG-ERP 架构的物联网统一数据模型，实现数据存储管理及统一服务，开发电力物联网综合应用平台，为现有业务系统及应用服务提供支撑。电力物联网的分层结构如图 1-2 所示。

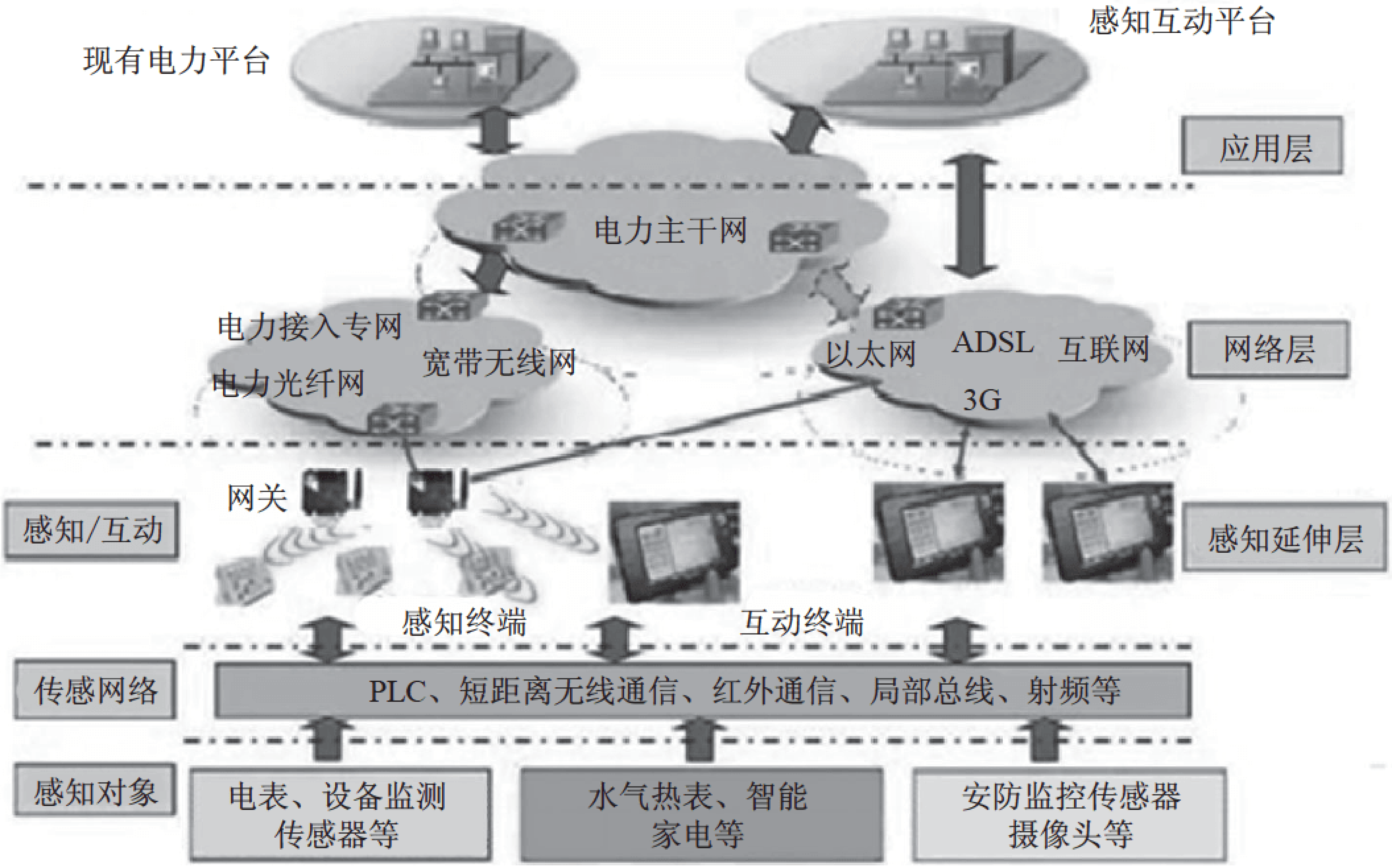


图 1-2　电力物联网的分层结构

3. 电力物联网工程技术应用的主要特点

1）电力物联网实际上是专用网

电力物联网可用的基层网络有很多种。根据应用的需要可以是电力行业通信专网，也可以是新建的专用于电力物联网的通信网，在应急情况下可以部分采用公众通信网。原则上，电力物联网只有电力系统才能连接，电力物联网的绝大多数信息流只能在电力系统内部流动。其次，电力物联网往往是受限网络。物联网在电力系统中有大量丰富多样的应用，电力系统不同的应用对信息提出不同的需求。所以，电力物联网的应用多样性与承载平台的通用性之间需要有应用中间件来适配，进行数据过滤、数据挖掘与决策支撑等智能信息处理。物联网信息对于各种应用是受限的。同时，电力物联网具有严格的用户身份识别、验证、鉴权制度，不同用户享受不同等级的物联网服务。所以电力物联网也是用户受限的。最后，电力物联网具有高度的安全性和可靠性。由于电力物联网直接支撑电网业务，因此电力物联网很大程度上影响着电力系统的安全稳定运行。所以建设坚强智能电网必须要求电力物联网具有极高的安全性和可靠性。

2）电网企业对物联网工程技术应用建设原则

基于“统一规划、统一标准、统一组织、统一实施”的原则以及SG-ERP总体架构，国家电网公司电力物联网建设集中了公司系统内电力物联网核心攻关团队及优势资源，进行规划研究、标准制定、产品开发、产品验证，并通过建立应用示范，逐步推广物联网应用，实现与智能电网的同步建设。

4. 物联网技术对电力行业变革的新挑战

通过全面采用智能电网，电力行业已经走到了物联网革命的前沿。电力行业的客户要求更多地了解和控制他们的能源使用，政府正在推动更清洁的能源计划。可靠性和安全性至关重要，这一点从来没有变过。分布式发电的集成要求电网运营更加透明可见，并且要求电力公司对局部电网干扰提供更加快速的响应。负荷模式正在转变，无数技术进步为电网管理提供了激动人心的新解决方案，同时物联网设备的智能互联为电网带来了更多的增强功能，如自愈网络及自动化、智能资产管理和应用、停电及故障管理、物联网安全。

从设计上来讲，传统的身份管理平台仅支持URL授权策略，没有能力解决物联网独特需求。现在的身份管理平台提供了新的通用授权功能，保护物联网设备和资产。例如，酒店住户打个电话就可以解锁自己房间的房门。通过通用授权，用户可以通过自定义操作来定义具体的资源类型或“事物”，构建特定的解决方案策略。

电力企业正在对物联网技术进行大手笔的投资，覆盖从发电到电力销售的各个环节。在能源部门，关键参与者正在选择智能资产来加强智能电网内外部的互动。决策的主要依据是电力公司需要实现的一系列目标，包括提高设备的整体效能和可靠性，降低质量和合规成本，改善客户服务，以及提高创新回报。

电力企业要管理的网络将更加复杂，而且这些网络很有可能会混合使用多种不同的技术。为了应对网络带来的挑战，需要更加高级的人工智能，快速经济地为非移动运营商以及云供应商量身定制服务，并且不会产生巨大的开销。等业务逐渐成熟以后，电力机构还可以在本区域内为其他行业和企业提供服务。

与任何行业革命一样，物联网将在能源行业迅速掀起一场变革。这场变革的形式将会十分多样，以至于现在根本无法对这场变革进行全面的讨论。能源物联网无疑将会给电力行业带来前所未有的冲击，从智能建筑和城市基础设施，再到能源民主化和可再生能源，世界能源供应和分配体系将实现高度敏感和精细的控制，而这种变化在几年前几乎是难以想象的事情。社区将以前所未有的方式进行互联，能源系统会被进一步优化以实现大范围的节能减排。总之，物联网是能源革命的未来。

另外，物联网支持电网的数据网络，能够将多种新的物理设备连接到电网，包括屋顶太阳能、电动汽车、家庭能源电池、智能电表、智能温控器和智能电器等。本地配电网将变成动态、双向和多方的能源市场，而不是之前的单向能源供应系统。但是配电网

络设计时并没有考虑到这些新设备，将如此多的设备连接到电网可能导致配电业务混乱。客户还是希望得到安全、可靠、经济实惠且越来越可持续的能源服务。

由于软件定义网络和通信技术的进步，以及计算能力及计算资源性价比的进一步提升，电力机构现在可以部署更加强大的智能电网技术平台，并且利用这一平台协调各种并网设备之间的分析和操作，解决关键业务挑战。对于传统电网来说，这是不现实，或者不划算的。拥有了强大的处理能力和存储器，智能电表和电网传感器可以组成统一的软件和计算平台，支持多种通信和应用协议。此外，端点中强大的处理能力，以及先进的软件定义通信技术也为电力机构解决关键连接和通信性能挑战铺平了道路，对于部署单一通信网络的电力机构来说，这些挑战已经造成了太多的困扰和损失。通信模块现在将 RF 网络、电力线载波（PLC）和 WiFi 通信组合在同一芯片组上。这使得能够基于网络操作条件、数据属性、应用需求动态且连续地选择最佳通信路径和最适当的频率调制。该新平台还提供点对点和本地广播通信功能，使得边缘设备可以单独交谈或与选定的设备组通信，以支持新的分布式分析用例。

1.4.3　电力物联网工程技术主要研究方向

1. 物联网的力量影响电力行业的未来

在这个万物互联（物联网）的时代，电力行业将扮演怎样的角色？智能电表和智能电网技术，已经和众多的物联网设备融为一体，为建设电力物联网服务。这些技术已经为电力行业和消费者带来了实实在在的好处。智能电网如今通过网络和设备来高效传输数据，但是未来的物联网真的就是把设备连接到一起这么简单吗？除了智能以外，现代化的电网还需要主动，就是说实时响应必须成为电网的一种内化的能力。如今，测量和电网系统收集大量的数据会在后端环节加以利用。主动电网充分利用数据进行现场实时调整，通过物联网的力量来提高工作效率，为电力机构和社区创造更多的价值。

2. 物联网技术通向智能电网之路

物联网本质上是一系列的技术和相关的业务流程，这些技术和流程为电力设备带来了互联互通的能力，让这些设备可以将自身的状态信息传递给其他系统，而用户可以对这些状态信息加以利用，发掘出更多的价值和机会。在电力行业，物联网技术的应用紧随技术发展的趋势。电力公司很少尝试最新的技术，但却热衷于使用成熟技术来优化资产管控，提升安全型，控制电网，预防停电事故。SCADA 和 AMI 是 IoT 在电力行业的两个典型应用。

SCADA（数据采集与监视控制系统）：物联网在行业内的发展可以追溯到 20 世纪 50 年代，那时的电力公司使用 SCADA 系统来对远端发电和电力传输系统进行集中化监控。在 SCADA 系统中，传感器和制动器由中央主单元控制，通过人机接口提供用户界面，

采集带有时间戳的数据，供后端系统分析使用。

AMI（高级计量体系）：AMI 是一套双向通信系统，连接电力公司和用户端的智能设备。其主要模块包括家庭网络、家庭显示终端、能源管理系统、智能电表、通信网络、数据管理系统等，AMI 系统如今在智能电网中扮演着重要的角色。

计算：数据库和分析工具的不断进步为预测和指定分析应用带来了快速发展，使商业机构和消费者可以利用 SCADA、AMI 及其他物联网设备生成的大量数据。

ADMS（先进分销管理系统）是一种物联网技术，解决方案供应商正在大力发展这种技术，以实现态势感知。一套 ADMS 系统就是一个集成的软件应用，这个应用充分利用已有的和新出现的技术来建立一套集中化的监控系统。这套监控系统使用各种内置的子系统和分布式资源来保证业务可靠性，识别现代电网中的不可控因素，保护资产及人身安全。ADMS 帮助智能电网充分发掘三大价值循环驱动中的潜力，在智能电网中扮演至关重要的角色。

物联网应用帮助电力行业提升效率和业绩，为电力行业带来了新的发展机遇。

（1）通过传感器收集数据，提升电网弹性。

（2）通过数据分析，帮助电力机构主动管理资源。

（3）通过改善现有电网，使所有利益相关方都可以有针对性地进行发电和用电决策。

通过这三个阶段，物联网提供了一系列指标，确保电力机构不仅仅可以在这个新的竞争环境中生存下去，并且可以实现蓬勃发展。此外，能源价值链的核心环节是输配电（T&D）网络，T&D 网络在实现物联网应用方面至关重要。

现在，智能电表可以直观且持续地感知到它们与电网中其他设备（如馈线、电路、相位、变压器、分布式发电、其他仪表）之间的关系。这种感知是通过对网络中各种电网设备电气特性的连续监控和算法解释来实现的。这种持续的自我感知为智能电网应用开辟了一条全新的道路。如果没有可靠、持续更新的连接模式，这些应用就没有实现的可能。

3. 电力物联网技术主要应用方向

利用物联网技术，可以提高对电网线路等电网设备的感知能力，并很好地结合信息通信网络，实现联合处理、数据传输、综合判断等功能，提高电网的技术水平和智能化水平。输电线路状态监测是其重要应用环节之一，主要包括气象环境监测、线路微风震动等，这些都需要物联网技术的支持，包括传感器技术、智能分析和处理技术、数据融合技术及可靠通信技术。

在电力系统中应用物联网技术，可提高电网设备的自动化和数字化水平、设备检修水平及自动诊断水平。通过物联网可对设备环境状态信息、机械状态信息、运行状态信息进行实时监测和预警诊断，提前做好故障预判、设备检修等工作。由于各种原因，电力设备会发生发热现象，而设备各部位温度表征设备运行是否处于正常运行状态，采用无线传感网络技术，可实现对设备温度的实时监控。同样，物联网技术可用于电力杆塔

或重要设施的全方位防护，通过在杆塔、输电线路或重要设备上部署各种智能传感器和感知设备，组成多传感器协同感知的物联网网络，实现目标识别、侵害行为的有效分类和区域定位，从而达到对配网设备全方位防护的目标。

电力设备的状态检修是工业化国家普遍推行的一种科学的设备检修管理策略。物联网技术在配电网现场作业管理方面的应用主要包括身份识别、电子标签与电子工作票、环境信息监测、远程监控等。搭建配电网现场作业管理系统，实现确认对象状态，匹配工作程序和记录操作过程的功能，减少误操作风险和安全隐患，真正实现调度指挥中心与现场作业人员的实时互动。

结合物联网技术可以研究不同类型风电机组的稳态特性和动态特性及其对电网电压稳定性、暂态稳定性的影响；提出风电场接入电网的可靠性分析评估方法，建立可靠性模型，开发相应的分析软件；开发风能实时监测和风电功率预测系统；建立风电机组/风电场并网测试体系；研究风电场继电保护技术及保护配置方案、定值整定；研究变流器、变桨控制、主控及风电场综合监控技术、低电压穿越技术；开发出具有自主知识产权的风电运行、控制、保护等系统，进行产业化推广应用。

物联网技术的应用有助于研究大规模核电、风电和特高压输电对系统内抽水蓄能容量规模的要求；研究抽水蓄能电站的联网效益，主要分析错峰、调峰、水火互济、跨流域补偿、互为备用和调剂余缺的能力；研究大型抽水蓄能电站在智能电网功能定位，逐步实现调峰填谷、核蓄互助、风蓄互补，开展大容量蓄能机组直接接入特高压电网的研究、实现蓄能机组事故备用、潮流调整等功能扩展；研究抽水蓄能电站的智能调度运行控制技术，依靠自主创新，开发研制抽水蓄能电站关键设备，包括计算机监控、调速、励磁、变频器等，并投入示范应用；初步研究蓄能机组跟踪风电功率变化的功率调节技术，在风蓄互补系统中发挥更大作用；制定满足电力系统需求的蓄能机组机网协调和辅助服务等技术标准；深化抽水蓄能黑启动功能研究，200MW 及以上蓄能机组带地区小负荷孤网运行可靠保证。

物联网技术同样有助于开展钠硫电池、液流电池、锂离子电池的模块成组、智能充放电、系统集成等关键技术研究；开展智能电网中储能电源规划设计和运行调度技术的研究；逐步开展储能技术在智能电网安全稳定运行、削峰填谷、间歇性能源柔性接入、提高供电可靠性和电能质量、电动汽车能源供给、燃料电池以及家庭分散式储能中的应用研究和示范；加强大型压缩空气储能等多种蓄能技术的研发，在重大技术突破的基础上开展试点应用。

第 2 章

电力物联网工程技术基础理论

社会发展系统动力学原理模型、电力物联网工程基本概念、电力物联网与智能电网基本技术特性、全球能源物联网工程基本概念、国家推动能源互联网发展要求、推动我国能源互联网发展重点任务是本章重点介绍的主要内容。

2.1　信息化工程基本理论

社会发展系统动力学原理模型、信息化是现代人类社会发展的必然趋势、大数据（Big Data）基本概念、物联网工程技术基本概念是本节介绍的主要内容。

2.1.1　社会发展系统动力学原理模型

如图 2-1 所示为简化了的社会发展系统动力学原理模型。社会发展系统动力学的出发点和归宿，是作为人类生存发展运动整体的“社会”。它的本性是不断提出更高的“发展需求”，永远不会停止在一个水平上。正是这种原动的“需求”，成为推动人类社会不断进步的永恒原动力。

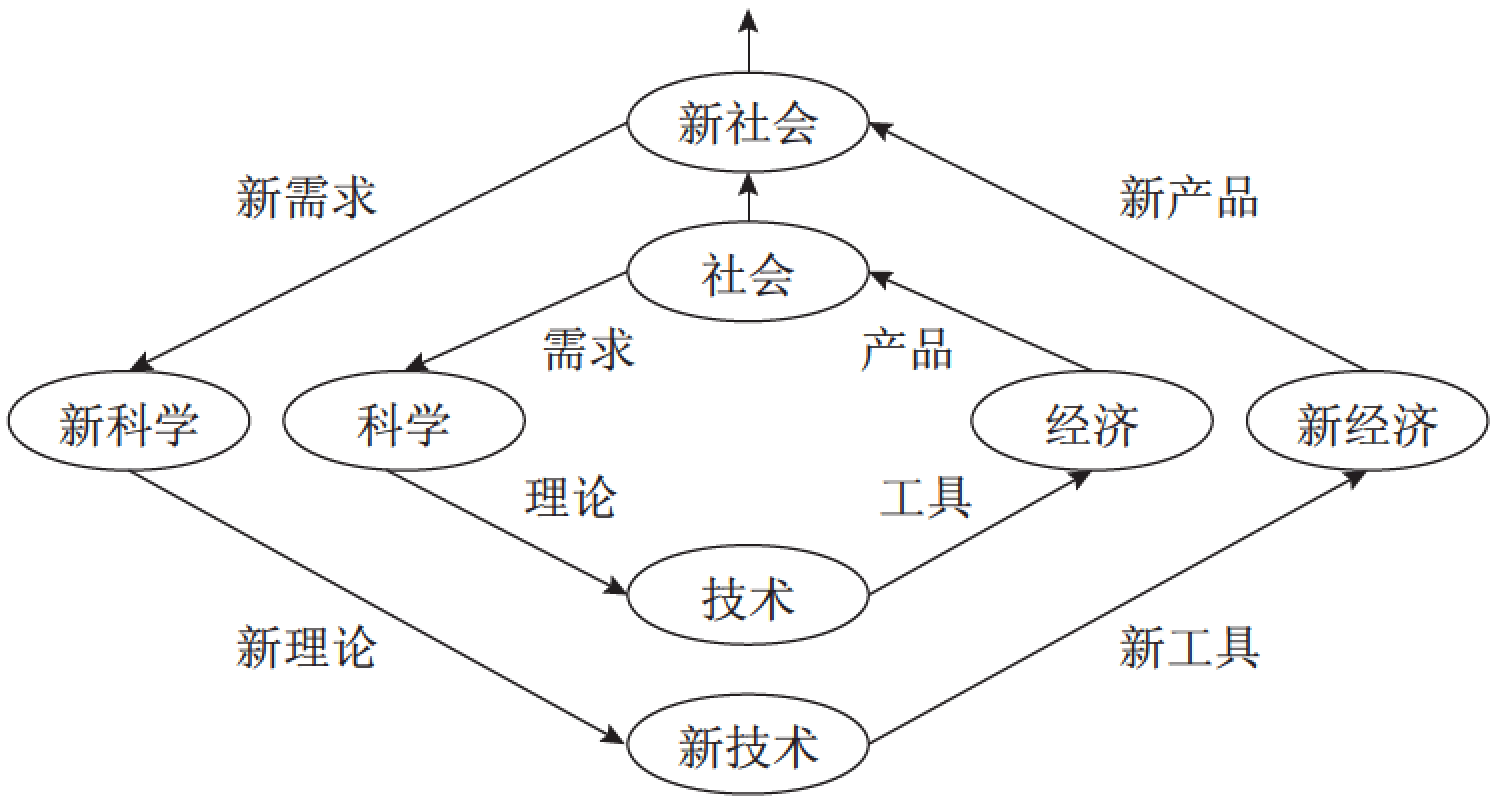


图 2-1　社会发展系统动力学原理简化模型

面对社会进步的原动“需求”，首先“科学”提供相关的“理论”成果来响应。理论可以在原理上启示社会成员怎样才能满足社会的需求，因而具有指导意义，但是抽象的理论本身无法直接满足社会进步的实际需求。

其次，面对社会“需求”的激励，在科学理论的启迪与指导下，“技术”通过向社会成员提供相应的“社会生产工具”来扩展社会成员的社会生产能力，强化社会成员实现社会需求的基本能力。

接着，社会成员利用生产工具展开社会生产活动，形成相应的“社会生产力”。另一方面，社会成员之间结成一定的社会生产关系，以便更有成效地进行社会生产活动。这种社会生产力与社会生产关系的结合，就构成了相应的社会经济运转系统。

这样构成的社会经济运转系统就可以生产一定数量、质量和品种的物质产品和精神产品来满足社会生存与发展的实际需求，从而完成了如图 2-1 所示的社会发展系统动力力学原理简化模型的一个互动过程，使社会需求得到满足。

图 2-1 所示的社会发展系统动力学原理简化模型表明，人类社会的本质特性是不断提出新的更高的生存发展需求。这种永不停顿、不断向上的新需求，成为促使人类自身不断进步的原动力，也是推动人类社会不断前进的永恒动力。

信息的基本概念及社会发展系统动力学原理深刻揭示了作为人类现代化社会发展进程的“信息化”的基本内涵：信息化是人类社会发展的一个高级进程，它的核心是要通过全体社会成员的共同努力，在经济和社会各个领域充分应用基于现代信息技术的先进社会生产工具，创建信息时代的社会生产力，推动社会生产关系和上层建筑的改革，使国家的综合实力、社会的文明素质和人民的生活质量全面达到现代化水平。

信息化的基本内涵启示我们：信息化的主体是全体社会成员，包括政府、企业、事业、团体和个人；它的时域是一个长期的历史过程；它的空域是政治、经济、文化、军事和社会的一切领域；它的手段是基于现代信息技术的先进社会生产工具；它的途径是创建信息时代的社会生产力，推动社会生产关系及社会上层建筑的改革；它的目标是使国家的综合实力、社会的文明素质和人民的生活质量全面过渡到现代化水平。

2.1.2 信息化是现代人类社会发展的必然趋势

按照社会发展系统动力学原理，科学技术的发展必然为社会提供新的社会生产工具，社会成员使用这种新的社会生产工具进行社会劳动就形成新的社会生产力，同时必然促进新的生产关系成长，从而推动新的社会生产方式和社会上层建筑的形成。这就是“科学技术 - 生产工具 - 生产力 - 经济 - 社会的连锁关系，如表 2-1 所示。

表 2-1 科学技术 - 生产工具 - 生产力 - 经济 - 社会连锁关系表

时　期	表征性科技	表征性资源	加工产物	所创制工具	使用方式	生产力时代	经济的形态	社会的形态
史前						蒙昧时代	原始经济	原始社会
古代	材料科技	物质	材料	体力工具	家庭	农业时代	农业经济	农业社会
近代	能量科技	能量	劳力	动力工具	团体	工业时代	工业经济	工业社会
现代	信息科技	信息	知识	智能工具	社会	信息时代	信息经济	信息社会

在表 2-1 中，“表征性科技”和“表征性资源”的含义是：任何一个时代所存在的科学技术和所利用的资源都必然是多样化的，这里只指出对于那个时代最具有表征性意

义的科学技术和资源。

在物质、能量、信息三种资源之中，物质资源相对比较直观，信息资源相对比较抽象，能量资源则介于两者之间；而人类宏观的认识能力通常是由直观逐步走向抽象。因此，古代人类所能认识和利用的资源必然主要是物质资源，近代人类进一步学会了认识和利用能量资源，现代人类则正在逐步深入地认识和利用信息资源。如表 2-1 所示，清楚地显示了古代农业社会、近代工业社会、现代信息社会的历史发展规律。

表 2-1 还表明，农业经济条件下的社会生产工具是体力工具；工业经济条件下的社会生产工具是动力工具；信息经济条件下的社会生产工具是智能工具。经济学原理认为，判断一种经济的性质是什么，不仅要看它生产什么，更要看它怎样生产。例如，农业经济、工业经济、信息经济都生产粮食，从这个意义上看不出它们有什么本质的区别；但是，它们生产粮食的方式大不相同，显示了它们之间质的区别。

经济是指社会产品生产与再生产的活动。某个时期的经济性质由当时社会成员素质水平、社会生产工具性质、社会生产力和生产关系的状况决定。依照经济学原理和表 2-1 所示的关系，可以清晰地给出农业经济、工业经济、信息经济、知识经济、数字经济、网络经济的基本定义。

1）农业经济

农业经济是以物质资源为表征性资源、以体力工具为表征性社会工具、以农业时代社会生产力为表征性社会生产力的经济。

2）工业经济

工业经济是以能量资源为表征性资源、以动力工具为表征性社会生产工具、以工业时代为表征性社会生产力的经济。

3）信息经济

信息经济是以信息资源为表征性资源、以智能工具为表征性社会生产工具、以信息时代社会生产力为表征性社会生产力的经济。

4）知识经济

把信息资源提炼成为知识，进一步把知识激活成为智能，这是信息资源加工转化的有序发展过程。因此，知识经济（基于知识的经济）是信息经济的一个比较高级的阶段。

由于信息资源是与物质和能量资源具有同等意义的基础资源，信息经济便自然成为一种有别于农业经济和工业经济体系的新的基本经济体系。知识经济则不是一个新的基本经济体系，而是信息经济体系发展到一定阶段的产物。

5）数字经济

数字经济主要强调了信息经济的数字化特征。数字经济的概念由“数字技术”引申而来。但是，“数字技术”本身只是现代信息技术的一种技术特征，数字经济也只能反映信息经济的一个技术侧面。

6）网络经济

网络经济的概念强调信息网络这种社会生产工具对经济的作用。如果说信息经济的

提法是着眼于信息经济的表征性基础资源，那么网络经济的提法则是着眼于信息经济的社会生产工具。而基础资源和社会生产工具都是一种经济形态的本质特征，因此，网络经济和信息经济具有同样重要的表征意义。

外部资源与人类能力的关系：如图 2-2 所示。

在没有任何生产工具的远古蒙昧时代，人们基本上是以“赤手空拳”和“各自谋生”的方式在大自然中求生存，没有形成任何有效的社会生产力。人们一方面在森林中采摘野果，追杀弱小猎物，在浅水区捕捞鱼虾；另一方面又要躲避凶猛野兽的侵袭，逃避自然灾害的暴虐。因此，那时人类生存发展的条件十分严峻，生存发展的水平十分低下，生存的机会与死亡的危险同在。

为了获得更好和更稳定的生存与发展条件，人类曾经进行过无数次自觉的和更多不自觉或半自觉的尝试，终于慢慢发现：要想改善生存发展条件，唯一有效的出路是必须逐步学会认识周围的世界，并在认识世界的基础上实现对外部世界的合理改造和优化。但是，外部世界浩大无边、错综复杂和变化莫测，人类对外部世界的认识遵循由简单到复杂、由直观到抽象的规律，人类对外部世界的认识不可能一蹴而就。这就决定了人类社会的发展只能由低级阶段逐步向高级阶段转变。

人类的能力虽然多姿多彩，但是归结起来只有三类：体质能力、体力能力和智力能力。体质能力是体力能力和智力能力的基础，体力能力是支撑智力能力的支柱，智力能力则是支配体质能力和体力能力的统帅和灵魂。三种能力相辅相成，构成人类三位一体的能力。

经过长期的实践摸索和无数次的失败与挫折，人类才逐渐领悟到实现“自身能力扩展”的奥秘：设法把外部世界的“资源”加工成为相应的社会生产工具，利用这些生产工具就可以扩展人类自身的能力。

如果真正能够制造出合适的生产工具，那么物质资源就能被用来扩展人类的体质能力；能量资源就能被用来扩展人类的体力能力；信息资源就能被用来扩展人类的智力能力。资源与能力之间的这种关系如图 2-2 所示。

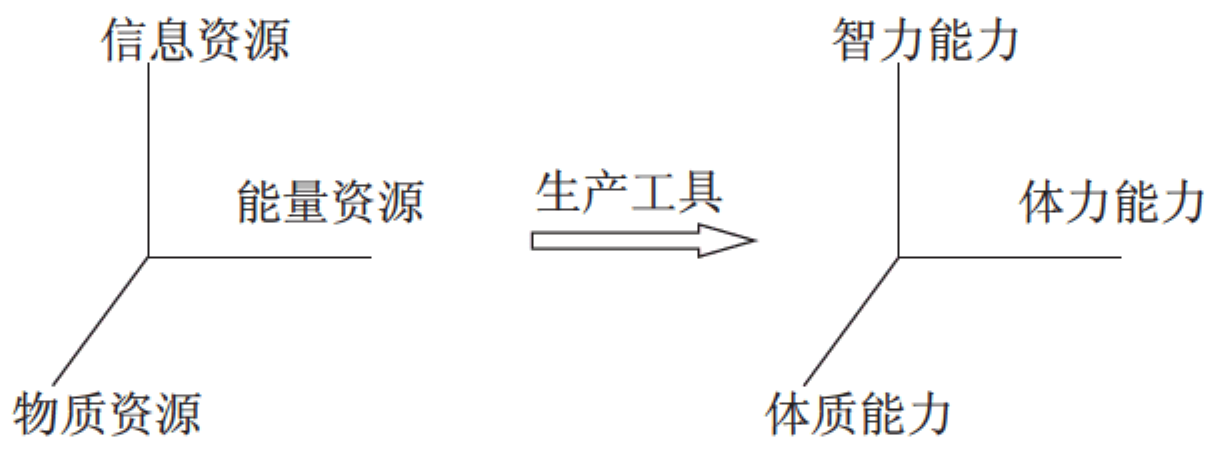


图 2-2　生产工具——利用外部资源扩展人类的能力

用外部世界的“资源”扩展人类自身的“能力”，是一切生产工具的共同本质。帮助人类完成这种转变任务的正是材料科学技术、能量科学技术和信息科学技术，它们为人类社会的进步做出了伟大贡献。

不难理解，三类资源之间，物质资源比较直观，信息资源比较抽象，能量资源则介

于两者之间。根据由简单到复杂和由直观到抽象的认识规律，人类最初主要利用古代初步发展起来的材料科学技术的知识，把外部世界的物质资源加工成为各种各样的材料（如石器材料、木器材料、金属材料等），制成了各种各样只需要材料而不需要能量和信息资源的体力工具（如锄头、镰刀、棍棒、车、犁等），扩展了人类的体质能力。

到了近代，人类逐步了解了能量资源的性质，利用能量科学技术知识把外部世界的能量资源加工成为各种可以控制的动力（如机械力、化学力、电力等），并把它们与近代的新材料结合起来，制成了各种只需要材料和动力而不需要信息资源的动力工具（如机车、机床、汽车、轮船等），扩展了人类的体力能力。

进入现代，人类正在逐步掌握信息资源的性质，利用信息科学技术知识把外部世界的信息资源加工成为各种各样可操作可利用的知识（如各种知识模型、推理规则、控制策略等），并把它们与现代的材料和动力相结合，制成了各种各样的智能工具（如各种决策系统、专家系统、智能机器人等），扩展了人类的智力能力。

科技、资源、工具、能力与社会的关系如表 2-2 所示。

表 2-2　科技 - 资源 - 工具 - 能力关系

时　期	表征科技	表征资源	加工产物	表征工具	扩展能力	时　代
史前						蒙昧时代
古代	材料科技	物质	材料	体力工具	体质能力	农业时代
近代	能量科技	能量	动力	动力工具	体力能力	工业时代
现代	信息科技	信息	知识	智能工具	智力能力	信息时代

从表 2-2 可以得出以下重要结论。

第一，正是由于科学技术的进步，人类能够利用外部世界的资源创造出越来越先进的社会生产工具，越来越全面地扩展人类自身的能力，从而不断改善人类生存和发展的条件，推动人类社会的发展。因此，人类社会自身不断产生更高的生存发展新需求，是牵引社会不断发展的原动力；而科学技术的进步则是回应新需求的牵引而产生的巨大推动力量。

第二，在“科学技术—资源利用—社会生产工具—社会生产力”这个关系链的推动下，人类社会由远古时代的蒙昧逐步走向农业时代文明、工业时代文明和信息时代文明。这就是人类社会发展的客观历史规律。

第三，人类社会由蒙昧时代走向农业文明的历史过程，是一个广泛应用体力工具的农业化时代；由农业时代走向工业时代的历史过程，是一个广泛应用动力工具的工业化时代；由工业时代走向信息时代的历史过程，是一个广泛应用智能工具的信息化时代。

第四，智能工具是基于现代信息技术的工具体系，是一个大规模的智能化信息网络。因此，信息化的过程是一个不断推广大规模智能信息网络在国民经济各部门和社会各领域广泛应用的过程。一代新的社会生产工具的广泛应用，导致一代新的社会生产力和生产关系的形成，导致一代新的社会生产方式和上层建筑的改变。

从科学技术和社会生产工具进步的总趋势来看，信息化确实是现代人类社会发展的必然趋势。

2.1.3 大数据基本概念

1. 大数据的基本定义

大数据（Big Data）是指那些数据量特别大、数据类别特别复杂的数据集，这种数据集无法用传统的数据库进行存储、管理和处理。大数据的主要特点为数据量大（Volume），数据类别复杂（Variety），数据处理速度快（Velocity）和数据真实性高（Veracity），合起来被称为4V。

大数据中的数据量非常巨大，达到了PB级别。在这庞大的数据之中，不仅仅包括结构化数据（如数字、符号等），还包括非结构化数据（如文本、图像、声音、视频等）。这使得大数据的存储、管理和处理很难利用传统的关系型数据库去完成。在大数据之中，有价值的信息往往深藏其中。这就需要对大数据的处理速度非常快，才能在短时间之内从大量的复杂数据中获取有价值的信息。在大数据中，通常不仅仅包含真实的数据，一些虚假的数据也混杂其中。在大数据的处理中需要将虚假的数据剔除，利用真实的数据来分析。

2. 大数据分析

大数据，表面上看就是大量复杂的数据，这些数据本身的价值并不高，但是进行大数据分析（Big Data Analysis）处理后，却能从中提炼出很有价值的信息。对大数据的分析，主要分为五个方面：可视化分析（Analytic Visualization）、数据挖掘算法（Date Mining Algorithms）、预测性分析能力（Predictive Analytic Capabilities）、语义引擎（Semantic Engines）和数据质量管理（Data Quality Management）。

1）可视化分析

可视化分析是普通消费者常常可以见到的一种大数据分析结果的表现形式。例如，百度制作的“百度地图春节人口迁徙大数据”就是典范的案例之一。可视化分析将大量复杂的数据自动转化成直观形象的图表，使其能够更易被普通消费者接受和理解。

2）数据挖掘算法

数据挖掘算法是大数据分析的理论核心，其本质是一组根据算法事先定义好的数学公式，将收集到的数据作为参数变量带入其中，从而能够从大量复杂的数据中提取到有价值的信息。著名的“啤酒和尿布”的故事就是数据挖掘算法的经典案例。沃尔玛通过对啤酒和尿布购买数据的分析，挖掘出以前未知的两者间的联系，并利用这种联系，提升了商品的销量。亚马逊的推荐引擎和谷歌的广告系统都大量使用了数据挖掘算法。

3）预测性分析能力

预测性分析能力是大数据分析最重要的应用领域。从大量复杂的数据中挖掘出规律，

建立起科学的事件模型，通过将新的数据带入模型，就可以预测未来的事件走向。预测性分析能力常常被应用在金融分析和科学研究领域，用于股票预测或气象预测等。

4）语义引擎

语义引擎是机器学习的成果之一。过去，计算机对用户输入内容的理解仅仅停留在字符阶段，不能很好地理解输入内容的意思，因此常常不能准确地了解用户的需求。通过对大量复杂的数据进行分析，让计算机从中自我学习，可以使计算机能够尽量精确地了解用户输入内容的意思，从而把握用户的需求，提供更好的用户体验。苹果的 Siri 和谷歌的 Google Now 都采用了语义引擎。

5）数据质量管理

数据质量管理是大数据在企业领域的重要应用。为了保证大数据分析结果的准确性，需要将大数据中不真实的数据剔除掉，保留最准确的数据。这就需要建立有效的数据质量管理系统，分析收集到的大量复杂的数据，挑选出真实有效的数据。

3. 分布式计算

对于如何处理大数据，计算机科学界有两大方向。第一个方向是集中式计算，就是通过不断增加处理器的数量来增强单个计算机的计算能力，从而提高处理数据的速度。第二个方向是分布式计算（Distributed Computing），就是把一组计算机通过网络相互连接组成分散系统，然后将需要处理的大量数据分散成多个部分，交由分散系统内的计算机组同时计算，最后将这些计算结果合并得到最终的结果。尽管分散系统内的单个计算机的计算能力不强，但是由于每个计算机只计算一部分数据，而且是多台计算机同时计算，因此就分散系统而言，处理数据的速度会远高于单个计算机。

过去，分布式计算理论比较复杂，技术实现比较困难，因此在处理大数据方面，集中式计算一直是主流解决方案。大型机就是集中式计算的典范硬件，很多银行和政府机构都用它处理大数据。不过，当时的互联网公司把研究方向放在了可以使用廉价计算机的分布式计算上。

4. 服务器集群

服务器集群（Server Cluster）是一种提升服务器整体计算能力的解决方案。它是由互相连接在一起的服务器群所组成的一个并行式或分布式系统。服务器集群中的服务器运行同一个计算任务。因此，从外部看，这群服务器表现为一台虚拟的服务器，对外提供统一的服务。

尽管单台服务器的运算能力有限，但是将成百上千的服务器组成服务器集群后，整个系统就具备了强大的运算能力，可以支持大数据分析的运算负荷。谷歌、亚马逊、阿里巴巴的计算中心的服务器集群都达到了 5000 台服务器的范围。

2.1.4　物联网工程技术主要应用领域

物联网是指通过各种信息传感设备，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程等各种信息，与互联网结合形成的一个巨大网络。其目的是实现物与物、物与人，所有的物品与网络的连接，方便识别、管理和控制。

1. 物联网应用的三项关键技术

1）传感器技术

这也是计算机应用中的关键技术。到目前为止，绝大部分计算机处理的都是数字信号。自从有计算机以来，一直需要传感器把模拟信号转换成数字信号，计算机才能处理。

2）RFID 标签

这也是一种传感器技术。RFID 技术是融合无线射频技术和嵌入式技术为一体的综合技术，RFID 在自动识别、物品物流管理方面有广阔的应用前景。

3）嵌入式系统技术

这是综合计算机软硬件、传感器技术、集成电路技术、电子应用技术为一体的复杂技术。经过几十年的演变，以嵌入式系统为特征的智能终端产品随处可见，小到人们身边的 MP3，大到航天航空的卫星系统。嵌入式系统正在改变着人们的生活，推动着工业生产以及国防工业的发展。如果把物联网比作人体，传感器相当于人的眼睛、鼻子、皮肤等感官，网络就是神经系统，用来传递信息，嵌入式系统则是人的大脑，在接收到信息后要进行分类处理。这个比喻很形象地描述了传感器、嵌入式系统在物联网中的位置与作用。

2. 物联网工程技术应用领域

1）智能家居

智能家居是利用先进的计算机技术、物联网技术、通信技术，将与家居生活的各种子系统有机结合起来，通过统筹管理，让家居生活更舒适、方便、有效与安全。

2）智能交通

智能交通系统（Intelligent Transportation System，ITS）是未来交通系统的发展方向，它是将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子传感技术、控制技术及计算机技术等有效地集成运用于整个地面交通管理系统而建立的一种在大范围、全方位发挥作用的实时、准确、高效的综合交通运输管理系统。

3）智能医疗

智能医疗是通过打造健康档案区域医疗信息平台，利用最先进的物联网技术，实现患者与医务人员、医疗机构、医疗设备之间的互动，逐步达到信息化。在不久的将来医疗行业将融入更多人工智慧、传感技术等高科技，使医疗服务走向真正意义的智能化，推动医疗事业的繁荣发展。在中国新医改的大背景下，智能医疗正在走进寻常百姓的生活。

4）智能电网

智能电网是在传统电网的基础上构建起来的集传感、通信、计算、决策与控制为一体的综合数、复合系统，通过获取电网各层节点资源和设备的运行状态，进行分层次的控制管理和电力调配，实现能量流、信息流和业务流的高度一体化，提高电力系统运行稳定性，以达到最大限度地提高设备利用率，提高安全可靠性，节能减排，提高用户供电质量，提高可再生能源的利用效率。

5）智能物流

智能物流是利用集成智能化技术，使物流系统能模仿人的智能，具有思维、感知、学习、推理判断和自行解决物流中某些问题的能力。智能物流的未来发展将会体现出几个特点：智能化、一体化和层次化、柔性化与社会化。在物流作业过程中的大量运筹与决策的智能化；以物流管理为核心，实现物流过程中运输、存储、包装、装卸等环节的一体化和智能物流系统的层次化；智能物流的发展会更加突出“以顾客为中心”的理念，根据消费者需求变化来灵活调节生产工艺；智能物流的发展将会促进区域经济的发展和世界资源优化配置，实现社会化。通过智能物流系统的四个智能机理，即信息的智能获取技术、智能传递技术、智能处理技术、智能运用技术。

6）智能农业

智能农业（或称工厂化农业）是指在相对可控的环境条件下，采用工业化生产，实现集约高效可持续发展的现代超前农业生产方式，就是农业先进设施与陆地相配套、具有高度的技术规范和高效益的集约化规模经营的生产方式。

7）智能电力

智能电力是指电力行业与其客户间的交互影响，包括电力销售以及如何通过智能电网改变电力行业的运作方式；第二部分阐述电力行业的燃料供给及脱碳要求，介绍发展大规模发电和分布式发电的成本及其优、劣势；第三部分论述美国电力公司如何进行变革以应对这些挑战和保持可持续发展。

8）智能安防

智能安防技术随着科学技术的发展与进步和二十一世纪信息技术的腾飞已迈入了一个全新的领域，智能化安防技术与计算机之间的界限正在逐步消失，没有安防技术社会就会显得不安宁，世界科学技术的前进和发展就会受到影响。

9）智慧城市

智慧城市就是运用信息和通信技术手段感测、分析、整合城市运行核心系统的各项关键信息，从而对包括民生、环保、公共安全、城市服务、工商业活动在内的各种需求做出智能响应。其实质是利用先进的信息技术，实现城市智慧式管理和运行，进而为城市中的人创造更美好的生活，促进城市的和谐、可持续发展。

10）智能汽车

智能车辆是一个集环境感知、规划决策、多等级辅助驾驶等功能于一体的综合系统，它集中运用了计算机、现代传感、信息融合、通信、人工智能及自动控制等技术，是典型

的高新技术综合体。目前对智能车辆的研究主要致力于提高汽车的安全性、舒适性，以及提供优良的人车交互界面。近年来，智能车辆已经成为世界车辆工程领域研究的热点和汽车工业增长的新亮点，很多发达国家都将其纳入到各自重点发展的智能交通系统当中。

11）智能建筑

智能建筑指通过将建筑物的结构、系统、服务和管理根据用户的需求进行最优化组合，从而为用户提供一个高效、舒适、便利的人性化建筑环境。智能建筑是集现代科学技术之大成的产物，其技术基础主要由现代建筑技术、现代计算机技术现代通信技术和现代控制技术所组成。

12）智能水务

智慧水务通过数采仪、无线网络、水质水压表等在线监测设备实时感知城市供排水系统的运行状态，并采用可视化的方式有机整合水务管理部门与供排水设施，形成“城市水务物联网”，并可将海量水务信息进行及时分析与处理，并做出相应的处理结果辅助决策建议，以更加精细和动态的方式管理水务系统的整个生产、管理和服务流程，从而达到“智慧”的状态。

13）商业智能

商业智能的概念在 1996 年最早由加特纳集团（Gartner Group）提出，加特纳集团将商业智能定义为：商业智能描述了一系列的概念和方法，通过应用基于事实的支持系统来辅助商业决策的制定。商业智能技术提供使企业迅速分析数据的技术和方法，包括收集、管理和分析数据，将这些数据转化为有用的信息，然后分发到企业各处。

14）智能工业

智能工业是将具有环境感知能力的各类终端、基于泛在技术的计算模式、移动通信等不断融入工业生产的各个环节，大幅提高制造效率，改善产品质量，降低产品成本和资源消耗，将传统工业提升到智能化的新阶段。工业和信息化部制定的“物联网‘十二五’发展规划”工业应用示范工程归纳为：生产过程控制、生产环境监测、制造供应链跟踪、产品全生命周期监测，促进安全生产和节能减排。

15）平安城市

平安城市是一个特大型、综合性非常强的管理系统，不仅需要满足治安管理、城市管理、交通管理、应急指挥等需求，而且还要兼顾灾难事故预警、安全生产监控等方面对图像监控的需求，同时还要考虑报警、门禁等配套系统的集成以及与广播系统的联动。

物联网把新一代 IT 技术充分运用在各行各业之中，具体地说，就是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中，然后将“物联网”与现有的互联网整合起来，实现人类社会与物理系统的整合，在这个整合的网络当中，存在能力超级强大的中心计算机群，能够对整合网络内的人员、机器、设备和基础设施实施实时的管理和控制，在此基础上，人类可以更精细和动态的方式管理生产和生活，达到“智慧”状态，提高资源利用率和生产力水平，改善人与自然的关系。

2.2　电力物联网工程技术基础理论

电力物联网工程技术基本概念、电力物联网与智能电网基本技术特性、电力物联网技术应用智能电网、机器人传感器的类别及应用原理是本节介绍的主要内容。

2.2.1　电力物联网工程技术基本概念

1. 电力物联网基本定义

电力物联网融合通信、传感、自动化、云计算等技术，在电力生产、输送、变电、配电、高度等各环节，采用各种智能设备和 IP 标准协议，实现相关信息的安全可靠传输处理，从而实现电网运行和企业管理全过程的全景全息感知、互联互通及无缝整合。就电力物联网的本质而言，是一种提高电力信息可靠性、高效性的控制手段。物联网的核心能力是全面感知、可靠传送、智能处理，这三个方面恰恰也是智能电网一直追求的目标。

随着智能电网的全面建设，物联网技术在各业务环节得到广泛应用。电力物联网以国家电网公司 SG-ERP 信息系统总体架构为基础，包括感知层、网络层和应用层，并且形成了基于统一信息模型、统一通信规约、统一数据服务和统一应用服务的电力物联网体系架构。其中，感知层实现电力生产各环节传感数据的统一感知与表达，建立统一信息模型，规范感知层的数据接入。网络层按照规范化的统一通信规约实现对数据的传送。应用层将多种数据信息统一管理并向外提供统一的数据服务，支撑各类业务应用，基于统一应用服务，开发各类电力物联网应用服务，供其他业务系统调用。

电力物联网的感知层主要由各种传感识别设备实现信息的采集、识别和汇集。随着电力物联网不断深化应用，日益增多的传感器数量及种类将导致多种传感技术及规范的同时使用，由此导致各种采集数据的数据表达（语义、数据表达格式等）无法统一。因此，需建立传感设备信息交互的统一信息模型，以规范电力物联网应用的建设，指导信息模型及数据接入规范的制定，达到高效的应用集成和数据共享的目的。电力物联网的统一信息模型以实现传感器信息模型的统一为目标，参照 IEC 61850、IEEE 1451[11]、SensorML[12] 等标准解决传感器语义不统一、数据表达格式不统一等难题。

2. 传感器信息模型的内涵

为了提高不同应用系统的信息交互效率，改善目前传感器由于厂家不同而导致的数据格式不利于数据共享的现状，应研究传感器的信息模型，其主要内容有两部分。

1）统一语义

统一语义即传感器节点跟上层通信使用同样的语言，让上层可以读懂和理解节点所

要表达的意思。在研究统一语义的时候，需重点考虑如下几个方面。

（1）语义的唯一性。即避免出现重复的或有歧义的语义表达。

（2）语义的可读性。即在描述或表达某一物理量时，尽量避免使用单个字符或无意义的字符，而应使用国际标准的英文单词或其组合，以此增强其可读性。

（3）语义的可扩展性。即传感器技术的发展可能会引入新的语句语义，因此制定语义规则时，需使其具有一定的可扩展性。

2）统一数据表达格式

（1）关键字的统一。即信息模型描述中的关键字应具有明确的意义，包括简称、命名等。比较通用的方式是采用英文单词，限定最大长度。例如，IEC 61850 中逻辑设备简称为 LD（logical device），逻辑节点简称为 LN（logical node），温湿度传感器逻辑节点按照 IEC 61850-7-4 中命名为 MTHS 等。

（2）表述方法的统一。即如何表述一个物理设备，包括如何划分设备类型，及如何建立与之对应的抽象数据类。

（3）描述语言的统一。即不同层之间采用统一的描述语言。例如，采用目前流行的可扩展标记语言（extensible markup language，XML）。XML 是万维网联盟 W3C 制定的用于描述数据文档中数据的组织和安排结构的语言，它定义了利用简单、易懂的标签对数据进行标记所采用的一般语法，提供了计算机文档的一种标准格式。

3. 传感器信息模型

该模型是指按照传感器最小逻辑功能，对各种传感器进行统一建模，实现传感器的信息模型。依据 IEC 61850-7 标准中的设计原则，将用逻辑设备、逻辑节点和数据对象描述的抽象数据模型作为整体设计框架；参考 IEEE 1451.4 的传感器电子数据表格（transducer electronic data sheet，TEDS）思想，实现电力物联网中传感器的信息模型；依据 IEC61850-6 中信息模型配置语言的描述，选用基于 XML 的变电站配置描述语言（substation configurationdeion language，SCL）作为感知层传感器抽象数据模型在应用层上的一种描述语言，便于系统内部和系统间的数据交换，实现统一语义和统一数据表达格式。

2.2.2 智能电网具备物联网工程技术基本特性

1. 智能电网是自愈电网

“自愈”指的是把电网中有问题的元件从系统中隔离出来，并且在很少或不用人为干预的情况下，可以使系统迅速恢复到正常运行状态，从而几乎不中断对用户的供电服务。从本质上讲，自愈就是智能电网的免疫系统。这是智能电网最重要的特征。

自愈电网进行连续不断的在线自我评估，以预测电网可能出现的问题，发现已经存

在的或正在发展的问题，并立即采取措施加以控制或纠正。

自愈电网确保了电网的可靠性、安全性、电能质量和效率。

自愈电网将尽量减少供电服务中断，充分应用数据获取技术，执行决策支持算法，避免或限制电力供应的中断，迅速恢复供电服务。

基于实时测量的概率风险评估将确定最有可能失败的设备、发电厂和线路；实时应急分析将确定电网整体的健康水平，触发可能导致电网故障发展的早期预警，确定是否需要立即进行检查或采取相应的措施；结合本地和远程设备的通信将帮助分析故障、电压降低、电能质量差、过载和其他不希望的系统状态，并对这些分析采取适当的控制行动。

自愈电网经常应用连接多个电源的网络设计方式。

当出现故障或发生其他问题时，在电网设备中先进的传感器确定故障并和附近的设备进行通信，以切除故障元件或将用户迅速地切换到另外可靠的电源上，同时传感器还有检测故障前兆的能力，在故障实际发生前，将设备状况告知系统，系统就会及时地提出预警信息。

2. 智能电网激励和包容用户

在智能电网中，用户将是电力系统不可分割的一部分。鼓励和促进用户参与电力系统的运行和管理是智能电网的另一重要特征。

从智能电网的角度来看，用户的需求完全是另一种可管理的资源，它将有助于平衡供求关系，确保系统的可靠性；从用户的角度来看，电力消费是一种经济的选择，通过参与电网的运行和管理，修正其使用和购买电力的方式，从而获得实实在在的好处。

在智能电网中，用户将根据其电力需求和系统满足其需求的能力，来调整、平衡其消费。

智能电网将满足用户在能源购买中有更多选择的基本需求，减少或转移高峰电力需求的能力，通过降低线损和减少效率低下的调峰电厂的运营，使电力公司尽量减少资本开支和运营开支，同时提供了大量的环境效益。

在智能电网中，与用户建立双向实时的通信系统是实现鼓励和促进用户积极参与电力系统运行和管理的基础。实时通知用户其电力消费的成本、实时电价、电网目前的状况、计划停电信息，同时用户可以根据这些信息制订自己的电力使用方案。

3. 智能电网具有抵御攻击的能力

电网安全性的全系统解决方案，拟在增强电网的抗攻击能力。电网经常受到物理攻击和网络攻击，该方案要求电网能够从供电中断故障中快速恢复供电。智能电网将展示被攻击后快速恢复的能力，甚至是对那些决心坚定和装备精良的攻击者发起反击。

电网安全性的全系统解决方案使智能电网的设计和运行具有阻止攻击的能力，最大限度地降低损失和快速恢复供电服务。智能电网也能同时承受对电力系统几个部分的攻击和在一段时间内多重协调的攻击。

智能电网的安全策略包含威慑、预防、检测、反应，以尽量减少和减轻对电网的影

响。面对重大威胁信息，不管是物理攻击还是网络攻击，智能电网都能通过加强电力企业与政府之间的密切沟通，在电网规划中强调安全风险，加强网络安全，提高智能电网抵御风险的能力。

4. 智能电网提供满足 21 世纪用户需求的电能质量

电能质量指标包括电压偏移、频率偏移、三相不平衡、谐波、闪变、电压骤降和突升等。用电设备的数字化对电能质量越来越敏感，电能质量问题可以导致生产线的停产，对社会经济发展造成重大的损失；因此，提供能满足 21 世纪用户需求的电能质量，是智能电网的又一重要特征。

但是电能质量问题又不是电力公司一家的问题，因此需要制定新的电能质量标准，对电能质量进行分级，因为并非所有的商业企业用户和居民用户都需要相同的电能质量。

电能质量可以从“标准”到“优质”进行分级，这取决于消费者的需求。它将在一个合理的价格水平上平衡负载的敏感度与供电的电能质量。

智能电网将以不同的价格水平提供不同等级的电能质量，以满足用户对不同电能质量水平的需求，同时要将优质优价写入电力服务的合同中。

智能电网将减轻来自输电和配电系统中的电能质量事件。通过先进的监控电网基本元件，快速诊断并准确地提出解决任何电能质量事件的方案。

此外，智能电网的设计还要考虑减少由于闪电、开关涌流、线路故障和谐波源引起的电能质量的扰动，同时应用超导材料、储能以及改善电能质量的电力电子技术的最新研究成果来解决电能质量的问题。

另外，智能电网将采取技术和管理手段，使电网免受由用户的电子负载所造成的电能质量的影响，将通过监测和执行相关的标准，限制用户负荷产生的谐波电流注入电网。除此之外，智能电网将采用适当的滤波器，以防止谐波污染送入电网，恶化电网的电能质量。

5. 不同类型发电和储能系统接入智能电网

智能电网将安全、无缝地容许各种不同类型的发电和储能系统接入系统，简化联网的过程，类似于“即插即用”，这一特征对电网提出了严峻的挑战。改进的互联标准将使各种各样的发电和储能系统容易接入。

各种不同容量的发电和储能在所有的电压等级上都可以互联，包括分布式电源，如光伏发电、风电、先进的电池系统、即插式混合动力汽车和燃料电池。

商业用户安装自己的发电设备（包括高效热电联产装置）和电力储能设施将变得更加容易和更加有利可图。在智能电网中，大型集中式发电厂（包括环境友好型电源，如风电、大型太阳能电厂和先进的核电厂）将继续发挥重要的作用。

加强输电系统的建设，使这些大型电厂仍然能够远距离输送电力。同时各种各样的分布式电源的接入一方面减少对外来能源的依赖，另一方面提高供电可靠性和电能质量，特别是对应对战争和恐怖袭击具有重要的意义。

6. 智能电网可促进电力市场蓬勃发展

在智能电网中，先进的设备和广泛的通信系统在每个时间段内支持市场的运作，并为市场参与者提供了充分的数据，因此电力市场的基础设施及其技术支持系统是电力市场蓬勃发展的关键因素。

智能电网通过市场上供给和需求的互动，可以最有效地管理如能源、容量、容量变化率、潮流阻塞等参量，降低潮流阻塞，扩大市场，汇集更多的买家和卖家。

用户通过实时报价来感受到价格的增长以降低电力需求，推动成本更低的解决方案以及新技术的开发，新型洁净的能源产品也将给市场提供更多选择的机会。

7. 智能电网使运行更加高效

智能电网优化调整其电网资产的管理和运行，以实现用最低的成本提供所期望的功能。这并不意味着资产将被连续不断地用到极限，而是有效地管理需要什么资产以及何时需要，每个资产将和所有其他资产进行很好的整合，以最大限度地发挥其功能，同时降低成本。

智能电网将应用最新技术以优化其资产的应用。例如，通过动态评估技术使资产发挥其最佳能力，通过连续不断地监测和评价其能力，使资产能够在更大的负荷下使用。

8. 智能电网高速通信在线监测

智能电网通过高速通信网络实现对运行设备的在线状态监测，以获取设备的运行状态，在最恰当的时间给出需要维修设备的信号，实现设备的状态检修，同时使设备运行在最佳状态。系统的控制装置可以被调整到降低损耗和消除阻塞的状态。通过对系统控制装置的调整，选择最小成本的能源输送系统，可以提高运行的效率。最佳容量、最佳状态和最佳运行将大大降低电网运行的费用。

此外，先进的信息技术将提供大量的数据和资料，并将集成到现有的企业范围的系统中，大大加强其能力，以优化运行和维修过程。这些信息将为设计人员提供更好的工具，创造出最佳设计，为规划人员提供所需的数据，从而提高其电网规划的能力和水平。

2.2.3　电力物联网技术应用智能电网

物联网应用到智能电网当中是现代电力通信技术发展的必然结果，通过对通信基础设施和电力系统基础设施等资源的整合，提高电力系统的信息化水平，为电发、输电、变电、配电、用电、调度等环节提供技术支撑，最终形成一个以电力设备为基础的高效电力网络平台——电力物联网。

1. 欧、日、中电网对物联网的应用侧重点各有不同

虽然各国在建设现代电网的过程中都用到了物联网，但由于各国电力发展的实际情

况不同，对物联网的应用侧重点也各有不同。

在欧洲，提升供电安全性、节能减排、发展低碳经济是各国积极发展智能电网的主要原因，在这种驱动力下，欧洲电力行业对物联网的应用更倾向于清洁能源和环保方向。

在日本，可再生能源接入、节能降耗和需求响应是日本发展智能电网的主要驱动力，日本电力行业对物联网的应用主要在对新能源发电监控和预测、智能电表计量、微网系统监控等领域。

在我国，物联网技术为提高电网效率、供电可靠性提供了技术支撑，RFID 技术、各类传感器、定位技术、图像获取技术等使仓库管理、变电站监控、抢修定位与调度、巡检定位、故障识别等业务实现灵活、高效、可控。

通过对比可以看出，我国的电力物联网应用侧重主要表现为：为电网提供技术支持及进行智能监控、监测，融汇于电网各个环节，提高电网的智能化水平。

2. 电力物联网在智能电网各环节的应用

电力物联网为电网提供基础运行业务和企业现代化运营模式的全方位支撑，重点从感知、网络和应用三个层面展开。这三个层面在电网各环节的表现也各有不同。

1）发电

电力物联网在发电环节主要表现为传感器的应用及对发电机等的监测。电容传感器可以监测电机引出线传输的局部放电脉冲信号，同样的定子槽耦合器监测定子槽的局部放电电流脉冲信号，电流传感器监测空间传播的局部放电射频脉冲信号。把相关数据进行压缩，通过无线网传到监测中心。通过分析平台对数据进行综合分析，将数据通过报表、统计图等形式显示给发电企业，使其整体把握发电状态及可能受到的影响，为电力生产和防灾减灾提供依据。

2）输电

电力物联网在输电环节主要表现为对输电线路的在线监测。在输电线路上部署温、湿度传感器及拉力传感器等，在高压杆塔上布设斜度传感器等，对输电线路进行实时监测，传回数据中心形成三维图像，从而对电力输送线路的运行情况有全面的把握，及时预防或排除可能发生的故障。同时，通过电力通信网络技术、传感器、RFID 技术，对输电设备进行全方位的保护和保电支撑，主要表现为对设备履历、设备标识的收集，现场作业进行视频监控、防误报警等。

3）变电

变电站是整个电网各环节中比较复杂的部分之一，电力物联网在这一环节的应用表现形式也具有多样性。首先是对变电站周围环境及设备零件的状态监测，通过传感器收集由于局部放电而产生的爆裂状声发射、设备内的短路、过负荷等异常现象及高频电流的相关数据。通过对这些数据的分析，从整体上把握变电站的运行情况。其次是变压器的状态监测，如变压器的内部压力情况，通过振动传感器、噪声传感器还可以看到铁芯松动或变形的情况，从而掌握变压器运行情况。最后是对整个变电站设备的智能巡视，

对母线、避雷器、高压开关、电流互感器、断路器、继电保护等相关设备都进行内部标签部署和收集整理，形成统一的数据资料。这样就能对变电站设备系统的把握，对设备的运行限、生产厂家和品牌、可能出现的故障等都可以在需要的时候第一时间了解。

4）配电

配电网是直接与电力用户相连接的一环，起到承上启下的作用，在整个电网系统中起枢纽作用。与输电和变电环节相同，对配电相关设备和现象的监测手法也相似。不同的是，配电网要对上游传输的电能量和下游电力用户的用电情况进行整体分析，并做出配电决策。在这个过程中，物联网中云计算和大数据分析技术发挥着十分重要的作用。只有做出准确的数据分析，才能在配电时提高供电可靠性，实现配电智能化。

5）用电、调度

这部分的主要表现形式为供电公司对用户用电信息的采集及智能用电系统。通过智能电表，对用户的用电情况进行采集，抄表周期从过去的一个月到一周，再到两分钟，实现了实时抄收和高速、双向互动。随着通信技术的提高，实现了无线传感和电力线宽带的复合应用。供电公司和物业管理中心通过以太网对用户的智能终端进行数据监测，及时了解用户家中设备的运行情况和应用需要，为用户提供相应的服务业务。同时可以对可能出现的问题进行提前预警，如电费使用情况、电压稳定情况等。

3. 物联网技术在电力行业应用产生的优势

1）输配电调度

在输配电调度方面，通过物联网技术的应用，遍布电网的传感器及时感知电网内部的运行情况，反馈全局系统电能的损耗情况给调度系统，并能够辅助调度人员对系统的运行方式，在保证安全运行的前提下优化网络的运行，提高输电环节的智能化水平和可靠性程度，节省能源消耗。

2）配电网现场作业管理

在配电网现场作业管理方面，物联网技术的应用主要包括身份识别、电子标签与电子工作票、环境信息监测、远程监控等。搭建配电网现场作业管理系统，实现确认对象状态，匹配工作程序和记录操作过程的功能，减少误操作风险和安全隐患，真正实现调度指挥中心与现场作业人员的实时互动。

3）安全监督与继电保护

在安全监控与继电保护方面，通过物联网技术的应用，一方面可以实时感知在外界气象条件下，杆塔、线路等运行部件的受力情况，将信息及时反馈。

物联网技术可用于电力杆塔或重要设施的全方位防护，通过在杆塔、配电线路或重要设备上部署各种智能传感器和感知设备，组成多传感器协同感知的物联网网络，实现目标识别、侵害行为的有效分类和区域定位，从而达到对配网设备全方位防护的目标。在恶劣的气象条件下，在杆塔、线路受力接近临界状态的情况下实时报警，并通过杆塔上调节装咯的动作来缓解受力严重部位的情况，等待工作人员更换。甚至，在覆冰情况下，

自动感知冰层的厚度，进行危害评估，并自动融冰，增强了抵御灾害的能力。另一方面，实时感知电网内部的运行状况，例如电压、电流的变化，预测故障的发生，通过网络重构，改变潮流的分布以将故障遏制在萌芽状态，并实时将信息反馈给调度中心。系统具有“自愈”功能。在不用人员赶到现场的情况下，通过工业现场总线技术和软件技术，使系统迅速恢复到正常运行状态。

4. 我国电力物联网的发展前景

电力物联网的发展迎合了电力行业的需求，率先发展起来的智能电网，其核心在于构建具备智能判断与自适应调节能力的多种能源统一入网和分布式管理的智能化网络系统，可对电网与用户用电信息进行实时监控和采集，且采用最经济与最安全的输配电方式将电能输送给终端用户，实现对电能的最优配置与利用，提高电网运行的可靠性和能源利用效率。

随着我国智能电网建设，电力物联网在其中的作用也日益突出。未来电力物联网在技术发展上会显著增强，初步形成较为完善的产业链，应用规模和水平也会有显著提升。广泛应用于智能电网各环节，形成较为成熟的、可持续发展的、统一的电力物联网建设及运营模式，实现电力物联网与智能电网同步建设。全面开展电力物联网综合应用及公共服务平台建设，实现智能电网与物联网的全面融合。

电力物联网是电力行业的一次革命，是现代电力行业发展的必然结果。电力物联网核心技术研发与产业化、关键标准研究与制定、产业链条建立与完善、重大应用示范与推广等将取得显著成效，初步形成创新驱动、应用牵引、协同发展、多方共赢的电力物联网产业发展格局。

2.2.4 机器人传感器的类别及应用原理

一般机器人系统由机械手、环境、任务和控制器四个互相作用的部分组成。我们称一般安装在机器人机械手上的传感器为内传感器（Inner Sensons），而称作为环境的一部分的传感器为外传感器（External Sensons）。机器人产业近年来发展很快，2017 年全球产量为 26 万台，欧、美、日等工业发达国家机器人市场已比较成熟，已处于平增长阶段。其机器人密度（万名员工使用机器人台数）韩国为 347 台，日本为 339 台，法国为 261 台，而我国为 21 台。但我国机器人市场也发展很快，工业机器人每年装机量增长速度均超过 20%，2016 年装机量为 82290 台，2017 年上涨到 174317 台。

机器人产品目前分类为工业机器人和服务机器人两大类。国内也有分为工业机器人和特种机器人的；或分为一般机器人和智能机器人的；或分为一般机器人和移动机器人的；或分为一般机器人和拟人机器人的。目前工业机器人多用于搬运、分拣、上下料、包装、码垛、焊接、喷涂、打磨、抛光、切割、摆放、装配等方面。

随着智能化程度的提高，机器人传感器应用越来越多。智能机器人主要有交互机器

人、传感机器人和自主机器人 3 种。从拟人功能出发，视觉、力觉、触觉最为重要，早已进入实用阶段，听觉也有较大进展，其他还有嗅觉、味觉、滑觉等，对应有多种传感器，所以机器人传感产业也形成了生产和科研力量。

机器人的控制系统相当于人类大脑，执行机构相当于人类四肢，传感器相当于人类的五官。因此，要让机器人像人一样接收和处理外界信息，机器人传感器技术是机器人智能化的重要体现。

传感器是机器人完成感觉的必要手段，通过传感器的感觉作用，将机器人自身的相关特性或相关物体的特性转化为机器人执行某项功能时所需要的信息。根据传感器在机器人上应用的目的和使用范围不同，可分为内部传感器和外部传感器。

内部传感器用于检测机器人自身状态，如手臂间角度、机器人运动工程中的位置、速度和加速度等；外部传感器用于检测机器人所处的外部环境和对象状况等，如抓取对象的形状、空间位置、有没有障碍、物体是否滑落等。

1. 机器人传感器主要类别

1）内传感器

机器人机电一体化的产品，内传感器和电机、轴等机械部件或机械结构，如手臂（Arm）、手腕（Wrist）等，安装在一起，完成位置、速度、力度的测量，实现伺服控制。

2）位置（位移）传感器

直线移动传感器有电位计式传感器和可调变压器两种。角位移传感器有电位计式、可调变压器（旋转变压器）及光电编码器三种，其中光电编码器有增量式编码器和绝对式编码器。增量式编码器一般用于零位不确定的位置伺服控制，绝对式编码器能够得到对应于编码器初始锁定位置的驱动轴瞬时角度值。当设备受到压力时，只要读出每个关节编码器的读数，就能够对伺服控制的给定值进行调整，以防止机器人启动时产生过剧烈的运动。

3）速度和加速度传感器

速度传感器有测量平移和旋转运动速度两种，但大多数情况下，只限于测量旋转速度，直线运动速度也经常通过旋转速度间接测量。例如，测速发电机可以将旋转速度转变成电信号，就是一种速度传感器。测速机要求输出电压与转速间保持线性关系，并要求输出电压陡度大，时间及温度稳定性好。测速机一般可分为直流式和交流式两种。

此外还有测速发电机用于测速等。

应变仪即伸缩测量仪，也是一种应力传感器，用于加速度测量。加速度传感器用于测量工业机器人的动态控制信号。一般有由速度测量进行推演、已知质量物体加速度所产生动力，即应用应变仪测量此力进行推演。

与被测加速度有关的力可由一个已知质量产生。这种力可以为电磁力或电动力，最终简化为对电流的测量，这就是伺服返回传感器，实际又能有多种振动式加速度传感器。

4）力觉传感器

力觉传感器用于测量两物体之间作用力的三个分量和力矩的三个分量。机器人中理想的传感器是粘接在依从部件的半导体应力计。具体有金属电阻型力觉传感器、半导体型力觉传感器、其他磁性压力式和利用弦振动原理制作的力觉传感器。

还有转矩传感器（如用光电传感器测量转矩）、腕力传感器（如国际斯坦福研究所的由6个小型差动变压器组成，能测量作用于腕部X、Y和Z三个方向的动力及各轴动转矩）等。

由于机器人发展历史较长，近年来普遍采用以交流永磁电动机为主的交流伺服系统，对应位置、速度等传感器大量应用的是：各种类型的光电编码器、磁编码器和旋转变压器。

5）外传感器

以往一般工业机器人是没有外部感觉能力的，而新一代机器人，如多关节机器人，特别是移动机器人、智能机器人则要求具有校正能力和反应环境变化的能力，外传感器就是实现这些能力的。

6）触觉传感器

微型开关是接触传感器最常用形式，另有隔离式双态接触传感器（即双稳态开关半导体电路）、单模拟量传感器、矩阵传感器（压电元件的矩阵传感器、人工皮肤——变电导聚合物、光反射触觉传感器等）。

7）应力传感器

多关节机器人进行动作时需要知道实际存在的接触、接触点的位置（定位）、接触的特性即估计受到的力（表征）这三个条件，所以用应变仪，结合具体应力检测的基本假设，如求出工作台面与物体间的作用力，具体有对环境装设传感器、对机器人腕部装设测试仪器用传动装置作为传感器等方法。

8）接近度传感器

由于机器人的运动速度提高及对物体装卸可能引起损坏等原因，需要知道物体在机器人工作场地内存在位置的先验信息以及适当的轨迹规划，因此有必要应用测量接近度的遥感方法。接近传感器分为无源传感器和有源传感器，所以除自然信号源外，还可能需要人工信号的发送器和接收器。

超声波接近度传感器用于检测物体的存在和测量距离。它不能用于测量小于30～50cm的距离。因测距范围较大，它可用在移动机器人上，也可用于大型机器人的夹手上，还可做成超声导航系统。

红外线接近度传感器，其体积很小，只有几立方厘米大，因此可以安装在机器人夹手上。

9）声觉传感器

用于感受和解释在气体（非接触感受）、液体或固体（接触感受）中的声波。声波传感器复杂程度可以从简单的声波存在检测到复杂的声波频率分析，直到对连续自然语言中单独语音和词汇的辨别。

10）接触式或非接触式温度传感器

近年，在机器人中应用较广的，除常用的热电阻（热敏电阻）、热电偶等外，热电电视摄像机测及感觉温度图像方面也取得进展。

11）滑觉传感器

滑觉传感器用于检测物体的滑动。当要求机器人抓住特性未知的物体时，必须确定最适当的握力值，所以要求检测出握力不够时所产生的物体滑动信号。利用这一信号，在不损坏物体的情况下，牢牢抓住物体。

目前，有利用光学系统的滑觉传感器和利用晶体接收器的滑觉传感器，后者的检测灵敏度与滑动方向无关。

12）距离传感器

距离传感器用于智能移动机器人的距离传感器有激光测距仪（兼可测角）、声呐传感器等，近几年得到发展。

13）视觉传感器

这是 20 世纪 50 年代后期出现的传感器，发展十分迅速，是机器人中最重要的传感器之一。机器视觉从 20 世纪 60 年代开始首先处理积木世界，后来发展到处理室外的现实世界。20 世纪 70 年代以后，实用性的视觉系统出现了。视觉一般包括三个过程，即图像获取、图像处理和图像理解。相对而言，图像理解技术还很落后。

2. 传感器的主要指标

（1）动态范围。动态范围即可测量的量程，是指灵敏度随幅值的变化量不超出给定误差限的输入机械量的幅值范围。在此范围内，输出电压和机械输入量成正比，所以也称为线性范围。动态范围一般不用绝对量数值表示，而用分贝（dB）作单位，这是因为被测振值变化幅度过大的缘故，以分贝级表示使用更方便一些。

（2）分辨率。分辨率是指传感器能测量的最小差异。例如，电流传感器的分辨率可能是 5mA，也就是说小于 5mA 的电流差异，它没法检测出。当然越高分辨率的传感器价格就越贵。

（3）线性度。这是一个非常重要的指标，用来衡量传感器输入和输出的关系。

（4）频率。是指传感器的采样速度。例如，一个超声波传感器的采样速度为 20Hz，也就是说每秒能扫描 20 次。

3. 机器人传感器的要求和选择

机器人传感器的选择取决于机器人的工作需要和应用特点，对机器人感觉系统的要求是选择传感器的基本依据。

（1）精度高、重复性好。

（2）稳定性和可靠性好。

（3）抗干扰能力强。

（4）重量轻、体积小、安装方便。

所有机器人传感器均与检测以后的信号变换、处理关系非常密切，而且变换处理的软件工作量很大，又与人工智能等信息技术融合。

2.3 能源物联网工程技术基本理论

全球能源物联网工程技术基本概念、国家推动能源互联网发展规划基本要求、推动我国能源互联网发展重点任务是本节介绍的主要内容。

2.3.1 能源物联网基本概念

1. 能源互联网的基本定义

能源互联网是一种互联网与能源生产、传输、存储、消费以及能源市场深度融合的能源产业发展新形态，具有设备智能、多能协同、信息对称、供需分散、系统扁平、交易开放等主要特征。在全球新一轮科技革命和产业变革中，互联网理念、先进信息技术与能源产业深度融合，正在推动能源互联网新技术、新模式和新业态的兴起。能源互联网是推动我国能源革命的重要战略支撑，对提高可再生能源比重，促进化石能源清洁高效利用，提升能源综合效率，推动能源市场开放和产业升级，形成新的经济增长点，提升能源国际合作水平具有重要意义。

能源互联网技术是综合运用先进的电力电子技术、信息技术和智能管理技术，将大量由分布式能量采集装置、分布式能量储存装置和各种类型负载构成的新型电力网络、石油网络、天然气网络等能源节点互联起来，以实现能量双向流动的能量对等交换与共享网络。

美国学者杰里米·里夫金（Jeremy Rifkin）于 2011 年在其著作《第三次工业革命》中预言，以新能源技术和信息技术的深入结合为特征，一种新的能源利用体系即将出现，他将他所设想的这一新的能源体系命名为能源互联网（Energy Internet）。随后，随着中国政府的重视，杰里米·里夫金及其能源互联网概念在中国得到了广泛传播。2014 年，中国提出了能源生产与消费革命的长期战略，并以电力系统为核心试图主导全球能源互联网的布局。2016 年 3 月，全球能源互联网发展合作组织成立，由国家电网独家发起成立，是中国在能源领域发起成立的首个国际组织，也是全球能源互联网的首个合作协调组织。

物联是基础。能源互联网用先进的传感器、控制和软件应用程序，将能源生产端、能源传输端、能源消费端的数以亿计的设备、机器、系统连接起来，形成了能源互联网的物联基础。大数据分析、机器学习和预测是能源互联网实现生命体特征的重要技术支

撑。能源互联网通过整合运行数据、天气数据、气象数据、电网数据、电力市场数据等，进行大数据分析、负荷预测、发电预测、机器学习，打通并优化能源生产和能源消费端的运作效率，需求和供应将可以进行随时的动态调整。

伴随着美国未来学家杰里米·里夫金《第三次工业革命》一书的出版，能源互联网领域的概念在国内逐渐被炒热。杰里米·里夫金在他的新书中阐述了这样一种观点，在经历第一次工业革命和第二次工业革命之后，第三次工业革命将是互联网对能源行业带来的冲击，即把互联网技术与可再生能源相结合，在能源开采、配送和利用上从传统的集中式转变为智能化的分散式，从而将全球的电网变为能源共享网络。

能源互联网将有助于形成一个巨大的能源资产市场（Market place），实现能源资产的全生命周期管理。通过这个市场可有效整合产业链上下游各方，形成供需互动和交易，也可以让更多的低风险资本进入能源投资开发领域，并有效控制新能源投资的风险。

能源互联网还将实时匹配供需信息，整合分散需求，形成能源交易和需求响应。当每一个家庭都变成能源的消费者和供应者的时候，无时无刻不在交易电力，比如屋顶分布式光伏电站发电、当为电动汽车充放电的时候。

2. 国内能源互联网发展历程

2015 年 9 月 26 日，中国国家主席习近平在纽约联合国总部出席联合国发展峰会，发表题为《谋共同永续发展 做合作共赢伙伴》的重要讲话。在讲话中，习近平宣布：中国倡议探讨构建全球能源互联网，推动以清洁和绿色方式满足全球电力需求。

2016 年 2 月，国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部联合制定《关于推进“互联网 +”智慧能源发展的指导意见》。《意见》提出，能源互联网建设近中期将分为两个阶段推进，先期开展试点示范，后续进行推广应用，并明确了十大重点任务。《意见》明确了能源互联网建设目标：2016—2018 年，着力推进能源互联网试点示范工作，建成一批不同类型、不同规模的试点示范项目；2019—2025 年，着力推进能源互联网多元化、规模化发展，初步建成能源互联网产业体系，形成较为完备的技术及标准体系并推动实现国际化。

2017 年 9 月 26 日，在全球能源互联网推动下，中国与周边国家能源互联互通初具规模。下一步，中国将稳步推进国内能源互联网建设，优化电网布局，提高国内能源资源优化配置能力，加快能源互联网示范项目建设，积极研究提出配套政策措施，为能源互联网新模式、新业态发展预留充足发展空间。

2017 年 7 月，为落实《关于推进“互联网 +”智慧能源发展的指导意见》（发改能源〔2016〕392 号）和国务院第 138 次常务会议的部署，有效促进能源和信息深度融合，推动能源领域结构性改革，国家能源局以《国家能源局关于组织实施“互联网 +”智慧能源（能源互联网）示范项目的通知》（国能科技 [2016]200 号）公开组织申报“互联网 +”智慧能源（能源互联网）示范项目。

2017 年 7 月，国家能源局正式公布包括北京延庆能源互联网综合示范区、崇明能

源互联网综合示范项目等在内的首批 55 个“互联网 +”智慧能源（能源互联网）示范项目，其中城市能源互联网综合示范项目 12 个、园区能源互联网综合示范项目 12 个、其他及跨地区多能协同示范项目 5 个、基于电动汽车的能源互联网示范项目 6 个、基于灵活性资源的能源互联网示范项目 2 个、基于绿色能源灵活交易的能源互联网示范项目 3 个、基于行业融合的能源互联网示范项目 4 个、能源大数据与第三方服务示范项目 8 个、智能化能源基础设施示范项目 3 个。

3. 能源互联网的基本功能

能源是现代社会赖以生存和发展的基础。为了应对能源危机，各国积极研究新能源技术，特别是太阳能、风能、生物能等可再生能源。可再生能源具有取之不竭、清洁环保等特点，受到世界各国的高度重视。可再生能源存在地理上分散、生产不连续、随机性、波动性和不可控等特点，传统电力网络的集中统一的管理方式难以适应可再生能源大规模利用的要求。对于可再生能源的有效利用方式是分布式的“就地收集，就地存储，就地使用”。

但分布式发电并网并不能从根本上改变分布式发电在高渗透率情况下对上一级电网电能质量、故障检测、故障隔离的影响，也难以实现可再生能源的最大化利用，只有实现可再生能源发电信息的共享，以信息流控制能量流，实现可再生能源所发电能的高效传输与共享，才能克服可再生能源不稳定的问题，实现可再生能源的真正有效利用。

信息技术与可再生能源相结合的产物——能源互联网，为解决可再生能源的有效利用问题，提供了可行的技术方案。与目前开展的智能电网、分布式发电、微电网研究相比、能源互联网在概念、技术、方法上都有一定的独特之处。因此，研究能源互联网的特征及内涵，探讨实现能源互联网的各种关键技术，对于推动能源互联网的发展，并逐步使传统电网向能源互联网演化，具有重要理论意义和实用价值。

能源互联网可理解为综合运用先进的电力电子技术、信息技术和智能管理技术，将大量由分布式能量采集装置、分布式能量储存装置和各种类型负载构成的新型电力网络节点互联起来，以实现能量双向流动的能量对等交换与共享网络。从政府管理者的视角来看，能源互联网是兼容传统电网的，可以充分、广泛和有效地利用分布式可再生能源的、满足用户多样化电力需求的一种新型能源体系结构；从运营者的视角来看，能源互联网是能够与消费者互动的、存在竞争的一个能源消费市场，只有提高能源服务质量，才能赢得市场竞争；从消费者的视角来看，能源互联网不仅具备传统电网所具备的供电功能，还为各类消费者提供了一个公共的能源交换与共享平台。

4. 能源互联网具备五大特征

1）可再生

可再生能源是能源互联网的主要能量供应来源。可再生能源发电具有间歇性、波动性，其大规模接入对电网的稳定性产生冲击，从而促使传统的能源网络转型为能源互联网。

2）分布式

由于可再生能源的分散特性，为了最大效率地收集和使用可再生能源，需要建立就地收集、存储和使用能源的网络，这些能源网络单个规模小，分布范围广，每个微型能源网络构成能源互联网的一个节点。

3）互联性

大范围分布式的微型能源网络并不能全部保证自给自足，需要联起来进行能量交换才能平衡能量的供给与需求。能源互联网关注将分布式发电装置、储能装置和负载组成的微型能源网络互联起来，而传统电网更关注如何将这些要素“接进来”。

4）开放性

能源互联网应该是一个对等、扁平和能量双向流动的能源共享网络，发电装置、储能装置和负载能够“即插即用”，只要符合互操作标准，这种接入是自主的，从能量交换的角度看没有一个网络节点比其他节点更重要。

5）智能化

能源互联网中能源的产生、传输、转换和使用都应该具备一定的智能。

5. 能源互联网的关键技术

能源互联网与其他形式的电力系统相比，具有 4 个关键技术。

1）可再生能源高渗透率

能源互联网中将接入大量各类分布式可再生能源发电系统，在可再生能源高渗透率的环境下，能源互联网的控制管理与传统电网之间存在很大不同，需要研究由此带来的一系列新的科学与技术问题。

2）非线性随机特性

分布式可再生能源是未来能源互联网的主体，但可再生能源具有很大的不确定性和不可控性，同时考虑实时电价、运行模式变化、用户侧响应、负载变化等因素的随机特性、能源互联网将呈现复杂的随机特性，其控制、优化和调度将面临更大挑战。

3）多源大数据特性

能源互联网工作在高度信息化的环境中，随着分布式电源并网，储能及需求侧响应的实施，包括气象信息、用户用电特征、储能状态等多种来源的海量信息。随着高级量测技术的普及和应用，能源互联网中具有量测功能的智能终端的数量将会大大增加，所产生的数据量也将急剧增大。

4）多尺度动态特性

能源互联网是一个物质、能量与信息深度耦合的系统，是物理空间、能量空间、信息空间乃至社会空间耦合的多域、多层次关联，包含连续动态行为、离散动态行为和混沌有意识行为的复杂系统。作为社会 / 信息 / 物理相互依存的超大规模复合网络，与传统电网相比，具有更广阔的开放性和更大的系统复杂性，呈现出复杂的不同尺度的动态特性。

6. 全球能源互联网

全球能源互联网是集能源传输、资源配置、市场交易、信息交互、智能服务于一体的“物联网”，是共建共享、互联互通、开放兼容的“巨系统”，是创造巨大经济、社会、环境综合价值的和平发展平台。它是以特高压电网为骨干网架、全球互联的坚强智能电网，是清洁能源在全球范围大规模开发、配置、利用的基础平台，实质就是“特高压电网 + 智能电网 + 清洁能源”。特高压电网是关键，智能电网是基础，清洁能源是重点。

全球能源互联网作为世界最大的能源配置系统，能够将具有时区差、季节差的各大洲电网连接起来，解决长期困扰人类发展的能源和环境问题，保障能源安全、清洁、可持续供应，创造巨大的经济、社会、环境价值，让世界成为能源充足、天蓝地绿、亮亮堂堂、和平和谐的“地球村”。

构建全球能源互联网具有必然性，一方面，人类发展面临能源安全、环境污染和气候变化等挑战与制约；另一方面，世界能源的客观需求又在不断增加。2050 年，世界能源需求预计将达 300 亿吨标准煤，比 2016 年增长近 62%，人均能源需求预计增长 16.8%。因此，只有实现能源的可持续供应，才能保障人类的生存与发展。构建全球能源互联网，加快“两个替代”（清洁替代、能源替代），正是能源持续供应的出路，只有实现清洁能源大规模开发、大范围配置和高效率利用，才能加快建设生态文明，满足经济社会发展的需求。

构建全球能源互联网具有可行性，一方面我国特高压工程实践已为构建全球能源互联网发挥了示范引领作用；另一方面，构建全球能源互联网既符合世界能源从高碳到低碳、从低效到高效、从局部平衡到大范围配置的发展趋势，又符合世界电网电压等级由低到高、联网规模从小到大、自动化水平由弱到强的发展趋势，并逐步发展成为互联大电网和坚强智能电网的发展规律。

2.3.2 国家推动能源互联网发展总体要求

1. 指导思想

全面贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想和党的十九大精神，适应和引领经济社会发展新常态，着眼能源产业全局和长远发展需求，以改革创新为核心，以“互联网 +”为手段，以智能化为基础，紧紧围绕构建绿色低碳、安全高效的现代能源体系，促进能源和信息深度融合，推动能源互联网新技术、新模式和新业态发展，推动能源领域供给侧结构性改革，支撑和推进能源革命，为实现我国从能源大国向能源强国转变和经济提质增效升级奠定坚实基础。

2. 基本原则

一是基础开放，大众参与。发挥互联网在变革能源产业中的基础作用，推动能源基

础设施合理开放，促进能源生产与消费融合，提升大众参与程度，加快形成以开放、共享为主要特征的能源产业发展新形态。

二是探索创新，示范先行。遵循“互联网+”应用发展规律，营造开放包容的创新环境，鼓励多元化的技术、机制及模式创新，因地制宜推进能源互联网新技术与新模式先行先试，形成万众创新良好氛围。

三是市场驱动，科学监管。发挥市场在资源配置中的决定性作用，驱动形成能源互联网发展新业态。适应新业态及大数据应用发展要求，完善能源与信息深度融合下的安全监管和市场监管机制，保障信息安全和市场参与者的合法权益。

四是深化改革，推动革命。适应能源互联网“三分技术、七分改革”的发展要求，深化能源体制机制改革，还原能源商品属性，构建有效竞争的市场结构和市场体系，推动能源消费、供给和技术革命。

3. 发展目标

能源互联网是一种能源产业发展新形态，相关技术、模式及业态均处于探索发展阶段。为促进能源互联网健康有序发展，近中期分为两个阶段推进，先期已开展试点示范，后续进行推广应用，确保取得实效。

2019—2025 年，着力推进能源互联网多元化、规模化发展：初步建成能源互联网产业体系，成为经济增长重要驱动力；建成较为完善的能源互联网市场机制和市场体系；形成较为完备的技术及标准体系并推动实现国际化，引领世界能源互联网发展；形成开放共享的能源互联网生态环境，能源综合效率明显改善，可再生能源比重显著提高，化石能源清洁高效利用取得积极进展，大众参与程度大幅提升，有力支撑能源生产和消费革命。

2.3.3　推动能源互联网发展的重点任务

1. 推动建设智能化能源生产消费基础设施

1）推动可再生能源生产智能化

鼓励建设智能风电场、智能光伏电站等设施以及基于互联网的智慧运行云平台，实现可再生能源的智能化生产。鼓励用户侧建设冷热电三联供、热泵、工业余热余压利用等综合能源利用基础设施，推动分布式可再生能源与天然气分布式能源协同发展，提高分布式可再生能源综合利用水平。促进可再生能源与化石能源协同生产，推动对散烧煤等低效化石能源的清洁替代。建设可再生能源参与市场的计量、交易、结算等接入设施与支持系统。

2）推进化石能源生产清洁高效智能化

鼓励煤、油、气的开采、加工及利用全链条智能化改造，实现化石能源的绿色、清

洁和高效生产。鼓励建设与化石能源配套的电采暖、储热等调节设施，鼓励发展天然气分布式能源，增强供能灵活性、柔性化，实现化石能源高效梯级利用与深度调峰。加快化石能源生产监测、管理和调度体系的网络化改造，建设市场导向的生产计划决策平台与智能化信息管理系统，完善化石能源的污染物排放监测体系，以互联网手段促进化石能源供需高效匹配、运营集约高效。

3）推动集中式与分布式储能协同发展

开发储电、储热、储冷、清洁燃料存储等多类型、大容量、低成本、高效率、长寿命储能产品及系统。推动在集中式新能源发电基地配置适当规模的储能电站，实现储能系统与新能源、电网的协调优化运行。推动建设小区、楼宇、家庭应用场景下的分布式储能设备，实现储能设备的混合配置、高效管理、友好并网。

4）加快推进能源消费智能化

鼓励建设以智能终端和能源灵活交易为主要特征的智能家居、智能楼宇、智能小区和智能工厂，支撑智慧城市建设。加强电力需求侧管理，普及智能化用能监测和诊断技术，加快工业企业能源管理中心建设，建设基于互联网的信息化服务平台。构建以多能融合、开放共享、双向通信和智能调控为特征，各类用能终端灵活融入的微平衡系统。建设家庭、园区、区域不同层次的用能主体参与能源市场的接入设施和信息服务平台。

2. 加强多能协同综合能源网络建设

1）推进综合能源网络基础设施建设

建设以智能电网为基础，与热力管网、天然气管网、交通网络等多种类型网络互联互通，多种能源形态协同转化、集中式与分布式能源协调运行的综合能源网络。加强统筹规划，在新城区、新园区以及大气污染严重的重点区域率先布局，确保综合能源网络结构合理、运行高效。建设高灵活性的柔性能源网络，保证能源传输的灵活可控和安全稳定。建设接纳高比例可再生能源、促进灵活互动用能行为和支持分布式能源交易的综合能源微网。

2）促进能源接入转化与协同调控设施建设

推动不同能源网络接口设施的标准化、模块化建设，支持各种能源生产、消费设施的“即插即用”与“双向传输”，大幅提升可再生能源、分布式能源及多元化负荷的接纳能力。推动支撑电、冷、热、气、氢等多种能源形态灵活转化、高效存储、智能协同的基础设施建设。建设覆盖电网、气网、热网等智能网络的协同控制基础设施。

3. 推动能源与信息通信基础设施深度融合

1）促进智能终端及接入设施的普及应用

发展能源互联网的智能终端高级量测系统及其配套设备，实现电能、热力、制冷等能源消费的实时计量、信息交互与主动控制。丰富智能终端高级量测系统的实施功能，促进水、气、热、电的远程自动集采集抄，实现多表合一。规范智能终端高级量测系统

的组网结构与信息接口，实现和用户之间安全、可靠、快速的双向通信。

2）加强支撑能源互联网的信息通信设施建设

优化能源网络中传感、信息、通信、控制等元件的布局，与能源网络各种设施实现高效配置。推进能源网络与物联网之间信息设施的连接与深度融合。对电网、气网、热网等能源网络及其信息架构、存储单元等基础设施进行协同建设，实现基础设施的共享复用，避免重复建设。推进电力光纤到户工程，完善能源互联网信息通信系统。在充分利用现有信息通信设施基础上，推进电力通信网等能源互联网信息通信设施建设。

3）推进信息系统与物理系统的高效集成与智能化调控

推进信息系统与物理系统在量测、计算、控制等多功能环节上的高效集成，实现能源互联网的实时感知和信息反馈。建设信息系统与物理系统相融合的智能化调控体系，以“集中调控、分布自治、远程协作”为特征，实现能源互联网的快速响应与精确控制。

4）加强信息通信安全保障能力建设

加强能源信息通信系统的安全基础设施建设，根据信息重要程度、通信方式和服务对象的不同，科学配置安全策略。依托先进密码、身份认证、加密通信等技术，建设能源互联网下的用户、数据、设备与网络之间信息传递、保存、分发的信息通信安全保障体系，确保能源互联网安全可靠运行。提升能源互联网网络和信息安全事件监测、预警和应急处置能力。

4. 营造开放共享的能源互联网生态体系

1）构建能源互联网的开放共享体系

充分利用互联网领域的快速迭代创新能力，建立面向多种应用和服务场景下能源系统互联互通的开放接口、网络协议和应用支撑平台，支持海量和多种形式的供能与用能设备的快速、便捷接入。从局部区域着手，推动能源网络分层分区互联和能源资源的全局管理，支持终端用户实现基于互联网平台的平等参与和能量共享。

2）建设能源互联网的市场交易体系

建立多方参与、平等开放、充分竞争的能源市场交易体系，还原能源商品属性。培育售电商、综合能源运营商和第三方增值服务供应商等新型市场主体。逐步建设以能量、辅助服务、新能源配额、虚拟能源货币等为标的物的多元交易体系。分层构建能量的批发交易市场与零售交易市场，基于互联网构建能量交易电子商务平台，鼓励交易平台间的竞争，实现随时随地、灵活对等的能源共享与交易。建立基于互联网的微平衡市场交易体系，鼓励个人、家庭、分布式能源等小微用户灵活自主地参与能源市场。

3）促进能源互联网的商业模式创新

搭建能源及能源衍生品的价值流转体系，支持能源资源、设备、服务、应用的资本化、证券化，为基于“互联网 +”的 B2B、B2C、C2B、C2C、O2O 等多种形态的商业模式创新提供平台。促进能源领域跨行业的信息共享与业务交融，培育能源云服务、虚拟能源货币等新型商业模式。鼓励面向分布式能源的众筹、PPP 等灵活的投融资手段，

促进能源的就地采集与高效利用。开展能源互联网基础设施的金融租赁业务，建立租赁物与二手设备的流通市场，发展售后回租、利润共享等新型商业模式。提供差异化的能源商品，并为灵活用能、辅助服务、能效管理、节能服务等新业务提供增值服务。

4）建立能源互联网国际合作机制

配合国家“一带一路”建设，建立健全开放共享的能源互联网国际合作机制，加强与周边国家能源基础设施的互联互通，推动国内能源互联网先进技术、装备、标准和模式“走出去”。

5. 发展储能和电动汽车应用新模式

1）发展储能网络化管理运营模式

鼓励整合小区、楼宇、家庭应用场景下的储电、储热、储冷、清洁燃料存储等多类型的分布式储能设备及社会上其他分散、冗余、性能受限的储能电池、不间断电源、电动汽车充放电桩等储能设施，建设储能设施数据库，将存量的分布式储能设备通过互联网进行管控和运营。推动电动汽车废旧动力电池在储能电站等储能系统实现梯次利用。构建储能云平台，实现对储能设备的模块化设计、标准化接入、梯次化利用与网络化管理，支持能量的自由灵活交易。推动储能提供能源租赁、紧急备用、调峰调频等增值服务。

2）发展车网协同的智能充放电模式

鼓励充换电设施运营商、电动汽车企业等，集成电网、车企、交通、气象、安全等各种数据，建设基于电网、储能、分布式用电等元素的新能源汽车运营云平台。促进电动汽车与智能电网间能量和信息的双向互动，应用电池能量信息化和互联网化技术，探索无线充电、移动充电、充放电智能导引等新运营模式。积极开展电动汽车智能充放电业务，探索电动汽车利用互联网平台参与能源直接交易、电力需求响应等新模式。

3）发展新能源 + 电动汽车运行新模式

充分利用风能、太阳能等可再生能源资源，在城市、景区、高速公路等区域因地制宜建设新能源充放电站等基础设施，提供电动汽车充放电、换电等业务，实现电动汽车与新能源的协同优化运行。

6. 发展智慧用能新模式

1）培育用户侧智慧用能新模式

完善基于互联网的智慧用能交易平台建设。建设面向智能家居、智能楼宇、智能小区、智能工厂的能源综合服务中心，实现多种能源的智能定制、主动推送和资源优化组合。鼓励企业、居民用户与分布式资源、电力负荷资源、储能资源之间通过微平衡市场进行局部自主交易，通过实时交易引导能源的生产消费行为，实现分布式能源生产、消费一体化。

2）构建用户自主的能源服务新模式

逐步培育虚拟电厂、负荷集成商等新型市场主体，增加灵活性资源供应。鼓励用户

自主提供能量响应、调频、调峰等灵活的能源服务，以互联网平台为依托进行动态、实时的交易。进一步完善相关市场机制，兼容用户以直接、间接等多种方式自主参与灵活性资源市场交易的渠道。建立合理的灵活性资源补偿定价机制，保障灵活性资源投资拥有合理的收益回报。

3）拓展智慧用能增值服务新模式

鼓励提供更多差异化的能源商品和服务方案。搭建用户能效监测平台并实现数据的互联共享，提供个性化的能效管理与节能服务。基于互联网平台，提供面向用户终端设施的能量托管、交易委托等增值服务。拓展第三方信用评价，鼓励能源企业或专业数据服务企业拓展独立的能源大数据信息服务。

7. 培育绿色能源灵活交易市场模式

1）建设基于互联网的绿色能源灵活交易平台

建设基于互联网的绿色能源灵活交易平台，支持风电、光伏、水电等绿色低碳能源与电力用户之间实现直接交易。挖掘绿色能源的环保效益，打造相应的能源衍生品，面向不同用户群体提供差异化的绿色能源套餐。培育第三方运维、点对点能源服务等绿色能源生产、消费和交易新业态。

2）构建可再生能源实时补贴机制

建立基于互联网平台的分布式可再生能源实时补贴结算机制，实现补贴的计量、认证和结算与可再生能源生产交易实时挂钩。进一步探索将大规模的风电场、光伏电站等纳入基于互联网平台的实时补贴范围。

3）发展绿色能源的证书交易体系

探索建立与绿色能源生产和交易实时挂钩的绿色证书生成和认证机制，推进绿色证书交易体系与现行排污权交易体系相融合，并通过合理的机制，将绿色证书交易作为碳排放权交易的有益补充。推动建立绿色能源生产强制配额制度，实现基于互联网平台的绿色证书交易与结算。推动绿色证书的证券化、金融化交易。

8. 发展能源大数据服务应用

1）实现能源大数据的集成和安全共享

实施能源领域的国家大数据战略，积极拓展能源大数据的采集范围，逐步覆盖电、煤、油、气等能源领域及气象、经济、交通等其他领域。实现多领域能源大数据的集成融合。建设国家能源大数据中心，逐渐实现与相关市场主体的数据集成和共享。在安全、公平的基础上，以有效监管为前提，打通政府部门、企事业单位之间的数据壁垒，促进各类数据资源整合，提升能源统计、分析、预测等业务的时效性和准确度。

2）创新能源大数据的业务服务体系

促进基于能源大数据的创新创业，开展面向能源生产、流通、消费等环节的新业务应用与增值服务。鼓励能源生产、服务企业和第三方企业投资建设面向风电、光伏等能

源大数据运营平台，为能源资源评估、选址优化等业务提供专业化服务。鼓励发展基于能源大数据的信息挖掘与智能预测业务，对能源设备的运行管理进行精准调度、故障诊断和状态检修。鼓励发展基于能源大数据的温室气体排放相关专业化服务。鼓励开展面向能源终端用户的用能大数据信息服务，对用能行为进行实时感知与动态分析，实现远程、友好、互动的智能用能控制。

3）建立基于能源大数据的行业管理与监管体系

探索建立基于能源大数据技术，精确需求导向的能源规划新模式，推动多能协同的综合规划模式，提升政府对能源重大基础设施规划的科学决策水平，推进简政放权和能源体制机制持续创新。推动基于能源互联网的能源监管模式创新，发挥能源大数据技术在能源监管中的基础性作用，建立覆盖能源生产、流通、消费全链条，透明高效的现代能源监督管理网络体系，提升能源监管的效率和效益。建设基于互联网、分级分层的能源统计、分析与预测预警平台，指导监督能源消费总量控制。

9. 推动能源互联网的关键技术攻关

1）支持能源互联网的核心设备研发

研制提供能量汇聚、灵活分配、精准控制、无差别化接入等功能的新型设备，为能源互联网设施自下而上的自治组网、分散式网络化协同控制提供硬件支撑。支持直流电网、先进储能、能源转换、需求侧管理等关键技术、产品及设备的研发和应用。推广港口气化、港口岸电等清洁替代技术。加强能源互联网技术装备研发的国际化合作。

2）支持信息物理系统关键技术研发

研究低成本、高性能的集成通信技术。研究信息物理系统中面向量测、电价、控制、服务等多种信息类型、安全可靠的信息编码、加密、检验和通信技术。研究信息物理系统中能源流和信息流高效融合的调度管理与协同控制等关键技术。研究信息—能量耦合的统一建模与安全分析关键技术。

3）支持系统运营交易关键技术研发

研究多能融合能源系统的建模、分析与优化技术。研究集中式与分布式协同计算、控制、调度与自愈技术。研发支持多元交易主体、多元能源商品和复杂交易类型的能源电商平台。研究支持分布式、并发式交互响应的实时交易，互联网虚拟能源货币认证，互联网虚拟能源货币的定价、流通、交易与结算等关键技术。探索软件定义能源网络技术。

10. 建设国际领先的能源互联网标准体系

1）制定能源互联网通用技术标准

研究建立能源互联网标准体系。优先制定能源互联网的通用标准、与智慧城市和中国制造 2025 等相协调的跨行业公用标准和重要技术标准，包括能源互联网的能源转换类标准、设备类标准、信息交换类标准、安全防护类标准、能源交易类标准、计量采集

类标准、监管类标准等。推动建立能源互联网相关国际标准化技术委员会，努力争取核心标准成为国际标准。

2）建设能源互联网质量认证体系

建立全面、先进、涵盖相关产业的产品检测与质量认证平台。建立国家能源互联网质量认证平台检测数据共享机制。建立国家能源互联网产品检测与质量认证平台及网络。鼓励建设能源互联网企业与产品数据库，定期发布测试数据。建立健全检测方法和评价体系，引导产业健康发展。

第 3 章

电力物联网工程技术基础知识

新一代 5G 移动通信技术，智慧城市的含义及其新技术，智能电网概念及主要特点，微电网、微能源网与能源互联网，基于物联网的电力系统发展分析，区块链技术发展路径及生态，区块链技术典型应用领域是本章重点介绍的内容。

3.1　电力物联网工程技术基本概念

物联网工程技术基本概念、新一代 5G 移动通信技术、互联网与物联网比较分析、智慧城市的含义及其新技术是本节介绍的主要内容。

3.1.1　物联网工程技术基本概念

1. 物联网概念

在“互联网概念”的基础上，将其用户端延伸和扩展到任何物品与物品之间，进行信息交换和通信的一种网络概念。其定义是：通过射频识别（RFID）、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何物品与互联网相连接，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络概念。物联网（Internet of Things）这个词，国内外普遍公认的是 MIT Auto-ID 中心 Ashton 教授 1999 年在研究 RFID 时最早提出来的。在 2005 年国际电信联盟（ITU）发布的同名报告中，物联网的定义和范围已经发生了变化，覆盖范围有了较大的拓展，不再只是指基于 RFID 技术的物联网。

自 2009 年 8 月温家宝总理提出“感知中国”以来，物联网被正式列为国家五大新兴战略性产业之一，写入“政府工作报告”，物联网在中国受到了全社会极大的关注，其受关注程度是在美国、欧盟、以及其他各国不可比拟的。物联网的概念与其说是一个外来概念，不如说它已经是一个“中国制造”的概念，它的覆盖范围与时俱进，已经超越了 1999 年 Ashton 教授和 2005 年 ITU 报告所指的范围，物联网已被贴上“中国式”标签。

“中国式”物联网最简洁的定义：物联网（Internet of Things）是一个基于互联网、传统电信网等信息承载体，让所有能够被独立寻址的普通物理对象实现互联互通的网络。它具有普通对象设备化、自治终端互联化和普适服务智能化 3 个重要特征。

其他的定义：物联网指的是将无处不在（Ubiquitous）的末端设备（Devices）和设施（Facilities），包括具备“内在智能”的传感器、移动终端、工业系统、楼控系统、

家庭智能设施、视频监控系统等和“外在使能”（Enabled）的，如贴上 RFID 的各种资产（Assets）、携带无线终端的个人与车辆等“智能化物件或动物”或“智能尘埃”（Mote），通过各种无线和 / 或有线的长距离和 / 或短距离通信网络实现互联互通（M2M）、应用大集成（Grand Integration）、以及基于云计算的 SaaS 营运等模式，在内网（Intranet）、专网（Extranet）、和 / 或互联网（Internet）环境下，采用适当的信息安全保障机制，提供安全可控乃至个性化的实时在线监测、定位追溯、报警联动、调度指挥、预案管理、远程控制、安全防范、远程维保、在线升级、统计报表、决策支持、领导桌面（集中展示的 Cockpit Dashboard）等管理和服务功能，实现对“万物”的“高效、节能、安全、环保”的“管、控、营”一体化。可以理解物联网定义为把所有物品通过信息传感设备与互联网连接起来，以实现智能化识别和管理。

物联网是在计算机互联网的基础上，利用 RFID、无线数据通信等技术，构造一个覆盖世界上万事万物的“Internet of Things”。在这个网络中，物品（商品）能够彼此进行“交流”，而无须人的干预。其实质是利用射频自动识别（RFID）技术，通过计算机互联网实现物品（商品）的自动识别和信息的互联与共享。

智能家居其实就是把家中的电器通过网络控制起来。可以想见，物联网发展到一定阶段，家中的电器可以和外网连接起来，通过传感器传达电器的信号。厂家在厂里就可以知道你家中电器的使用情况，也许在你之前就知道你家电器的故障。某一天突然有维修工上门告诉你家中空调有问题，你还惊异地不相信。物联网的发展，必然带动传感器的发展，传感器发展到一定程度，变形金刚会真的出现在我们的面前。

2. 全球范围内物联网的产业实践主要集中在三大方向

第一个实践方向被称作“智慧尘埃”，主张实现各类传感器设备的互联互通，形成智能化功能的网络。

第二个实践方向是广为人知的基于 RFID 技术的物流网，该方向主张通过物品物件的标识，强化物流及物流信息的管理，同时通过信息整合形成智能信息挖掘。

第三个实践方向被称作数据“泛在聚合”意义上的物联网，认为互联网造就了庞大的数据海洋，应对其中每个数据进行属性的精确标识，全面实现数据的资源化，这既是互联网深入发展的必然要求，也是物联网的使命所在。

比较而言，“智慧尘埃”意义上的物联网属于工业总线的泛化。这样的产业实践自从机电一体化和工业信息化以来，实际上在工业生产中从未停止过，只是那时不叫物联网，而是叫工业总线。这种意义上的物联网将因传感技术、各类局域网通信技术的发展，依据其内在的科学技术规律，坚实而稳步地向前行进，并不会因为人为的一场运动而加快发展速度。

RFID 意义上的物联网，所依据的 EPCglobal 是一个中立的、非赢利性标准化组织的标准。在推出时，即被定义为未来物联网的核心标准，但是该标准及其唯一的方法手段 RFID 电子标签所固有的局限性，使它难以真正指向物联网所提倡的智慧星球。原因

在于，物和物之间的联系所能告知人们的信息是非常有限的，而物的状态与状态之间的联系，才能使人们真正挖掘事物之间普遍存在的各种联系，从而获取新的认知，获取新的智慧。

“泛在聚合”要实现互联网所造就的无所不在的浩瀚数据海洋，实现彼此相识意义上的聚合。这些数据既代表物，也代表物的状态，甚至代表人工定义的各类概念。数据的“泛在聚合”，将能使人们极为方便地任意检索所需的各类数据，在各种数学分析模型的帮助下，不断挖掘这些数据所代表的事务之间普遍存在的复杂联系，从而实现人类对周边世界认知能力的革命性飞跃。

3.1.2　新一代 5G 移动通信技术

1. 移动通信技术的发展历程

第一代（the first generation，1G）移动通信系统的主要特征是采用模拟技术和频分多址（FDMA）技术，有多种制式。我国主要采用 TACS，其传输速率为 2.4kb/s，由于受到传输带宽的限制，不能进行移动通信的长途漫游，只是一种区域性的移动通信系统。

第二代（the second generation，2G）移动通信系统采用的技术主要有时分多址（TDMA）和码分多址（CDMA）两种技术，它能够提供 9.6 ～ 28.8kb/s 的传输速率。全球主要采用 GSM 和 CDMA 两种制式，我国主要采用 GSM 这一标准。第二代移动通信系统具有保密性强，频谱利用率高，能提供丰富的业务，标准化程度高等特点，可以进行省内外漫游。

第三代（the third generation，3G）是多媒体移动通信系统。第三代移动通信系统在国际上统称为 IMT-2000，是国际电信联盟（1TU）在 1985 年提出的工作在 2000MHz 频段的系统。与第一代模拟移动通信和第二代数字移动通信系统相比，第三代的最主要特征是可提供移动多媒体业务。

第四代（the forth generation，4G）也称为广带接入和分布网络，具有超过 2Mb/s 的非对称数据传输能力，对高速移动用户能提供 150Mb/s 的高质量的影像服务，并首次实现三维图像的高质量传输它包括广带无线固定接入、广带无线局域网、移动广带系统和互操作的广播网络（基于地面和卫星系），是集多种无线技术和无线 LAN 系统为一体的综合系统，也是宽带 IP 接入系统。

第五代（the fifth generation，5G）移动通信系统技术的提出和研发是面向 2020 年及以后的全球移动通信的强烈需求。

2015 年 6 月 24 日，国际电信联盟（ITU）公布，5G 技术的正式名称为 IMT-2020，并公布相关标准在 2020 年制定完成。IMT-2020 是第五代移动电话行动通信标准，传输速度是 4G 网络的 40 倍，而且具有低延时等特性。

2. 5G 的概念

5G 代表着移动技术演进和革命，达到无线生态系统各个成员迄今发布的多项高级别目标。普遍认为 5G 是一代能让蜂窝网络扩展至全新使用案例和垂直市场的无线技术。5G 技术还可让蜂窝网络进入机器世界，它将造福于无人驾驶汽车等，并用来连接数以百万计的工业传感器，以及各种可穿戴消费电子设备。

5G 与 4G、3G、2G 系统均有不同。5G 是对现有无线接入技术（包括 2G、3G、4G 和 WiFi）的技术演进与新增补充性无线接入技术集成后的解决方案的总称。或者说，5G 将是一个真正意义上的融合网络。这个融合统一的标准，将提供人与人、人与物、物与物之间高速、安全、自由的连接。

3. 5G 的主要特点

- 5G 的网络架构将进一步扁平化，它将是功能强大的基站叠加一个大服务器集群和更加新型化的架构，如 C-RAN。
- 5G 的基站将更加小型化，可以安装于各种场景；具备更强大的功能，将去除传统的汇聚节点。
- 5G 时的网速极大提升，比 4G/LTE 的峰值传输速率快 100 倍。
- 5G 网络要满足超大带宽、超高容量、超密站点、超可靠性、随时随地接入的要求。

因此，5G 是一个广带化、泛在化（即广泛存在的网络）、智能化、融合化、绿色节能的大通信网络。

4. 5G 无线通信技术概念及特点

5G 通信技术作为概念性的技术在 2001 年由日本 NTT 公司提出，而我国 5G 概念则是于 2012 年 8 月在中国国际通信大会上提出。5G 无线通信技术实际上就是无线互联网网络如图 3-1 所示，这个技术将支持 OFDM（正交频分复用）、MC-CDMA（多载波码分多址）、LAS-CDMA（大区域同步码分多址）、UWB（超宽带）、NETWORK-LMDS（区域多点传输服务）和 IPv6（互联网协议）。事实上，IPv6 是 4G 和 5G 技术的基础协议。5G 技术是一个完整的无线通信系统，没有任何限制，所以将 5G 称为真正无线世界或者 WWWW（World Wide Wireless Web，世界级无线网）。

对于不同的无线电接入网（Radio Access Network，RAN），利用扁平化 IP 概念更容易使 5G 网络升级至一个单纳米核心网络。由于扁平化 IP，我们要更关注网络安全，因此 5G 网络运用纳米技术作为防护工具来保障网络安全。不可否认的是，扁平化 IP 网络的关键概念就是使 5G 可以兼容所有的网络。为了满足使用者对即时数据应用的要求，无线运营商要试图转型到扁平化 IP 建设中。扁平化 IP 构架提供了一个能够通过象征性的名称来识别终端的方法，这种方法不像分层架构那样运用正常的 IP 地址，这种做法给移动网络运营商带来更多的利益。随着向扁平化 IP 架构的转型，移动运营商会有相

应变化。

- 减少数据通道中的网络元素，从而减少运营成本和资本支出。
- 在运用新型的应用中，一定程度上减少数据在传输过程中的损耗。
- 将整个通信系统中的延迟最小化，如果无线链路中的延迟被增强，也会在系统中得到完整的识别。
- 分别独立改善无线网与核心网，使之相比从前的网络，拥有更好的拓展性，也可以建立更灵活的网络结构。
- 发展一个更灵活的核心网络，这个核心网可以作为基站，在移动终端与通用 IP 接入网中提供更新颖的服务。
- 创建一个更具有竞争力的平台，对于有线网络来说，具有价格和性能表现上的优势。

扁平化的网络结构在网络中去除了语音功能导向中的分层。为了取代覆盖在语音网络中的数据包，可以构造更简化的数据结构，这样可去除网络链条中多样的元素。

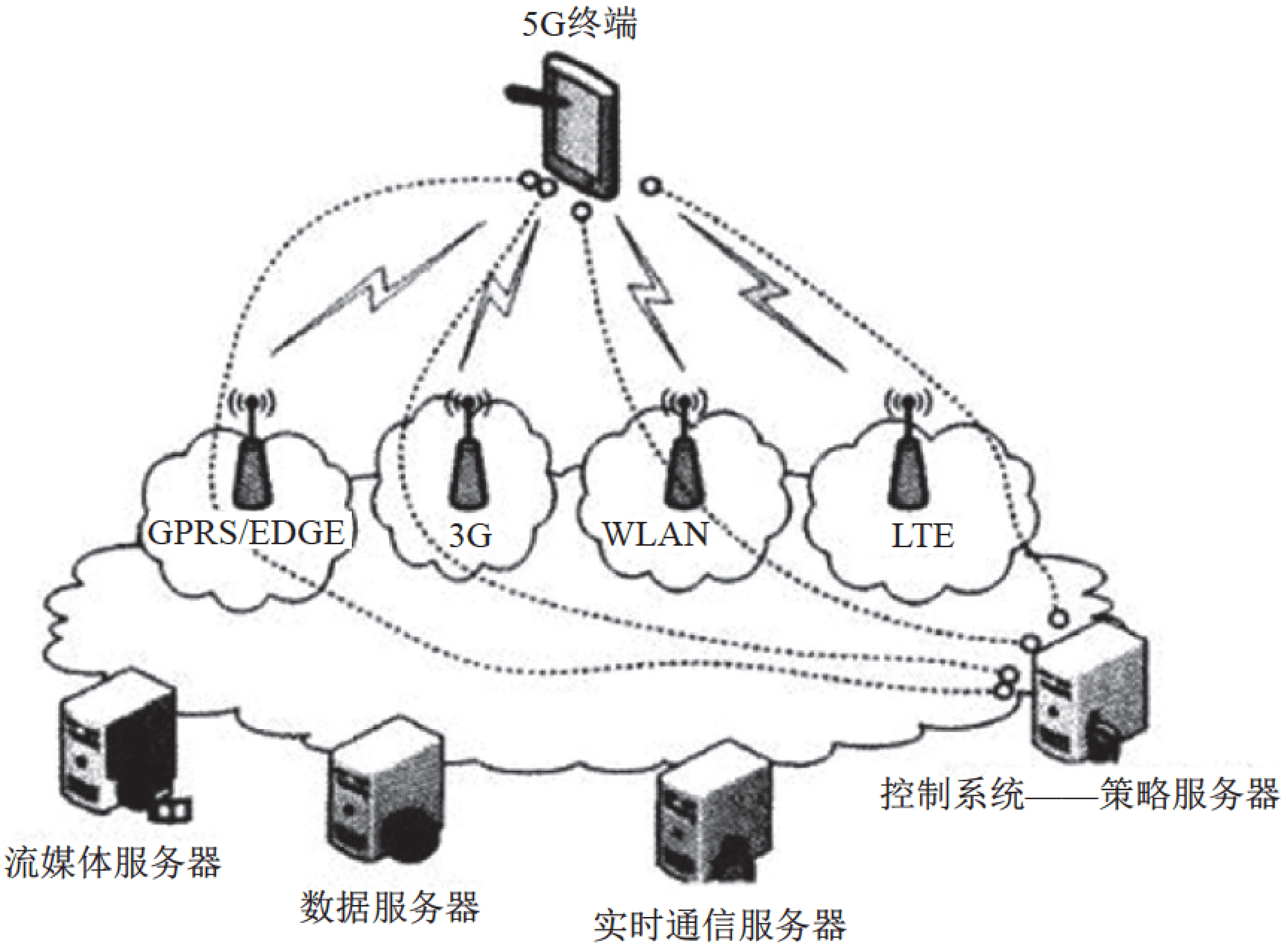


图 3-1　5G 无线通信系统示意图

如图 3-2 所示是 5G 移动系统中的网络结构设计方案的系统模型，这是一个无线与移动网络互用的全 IP 网络模型。这个模型中包括一个用户终端（这在整个全新的构造中起至关重要的作用）和一些独立、自主的无线电接入技术。对于每一个终端来说，每一个无线电接人技术都可以被看作是一条 IP 链接，可以连通外部的 Internet 网络。但是，在移动终端中，不同的无线电接入技术需要不同的无线电接口。例如，若有 4 种不同的无线电接入技术，就需要 4 种对应的接口植入到移动终端中，而且要求可以同时激活这

4 种无线电接入。

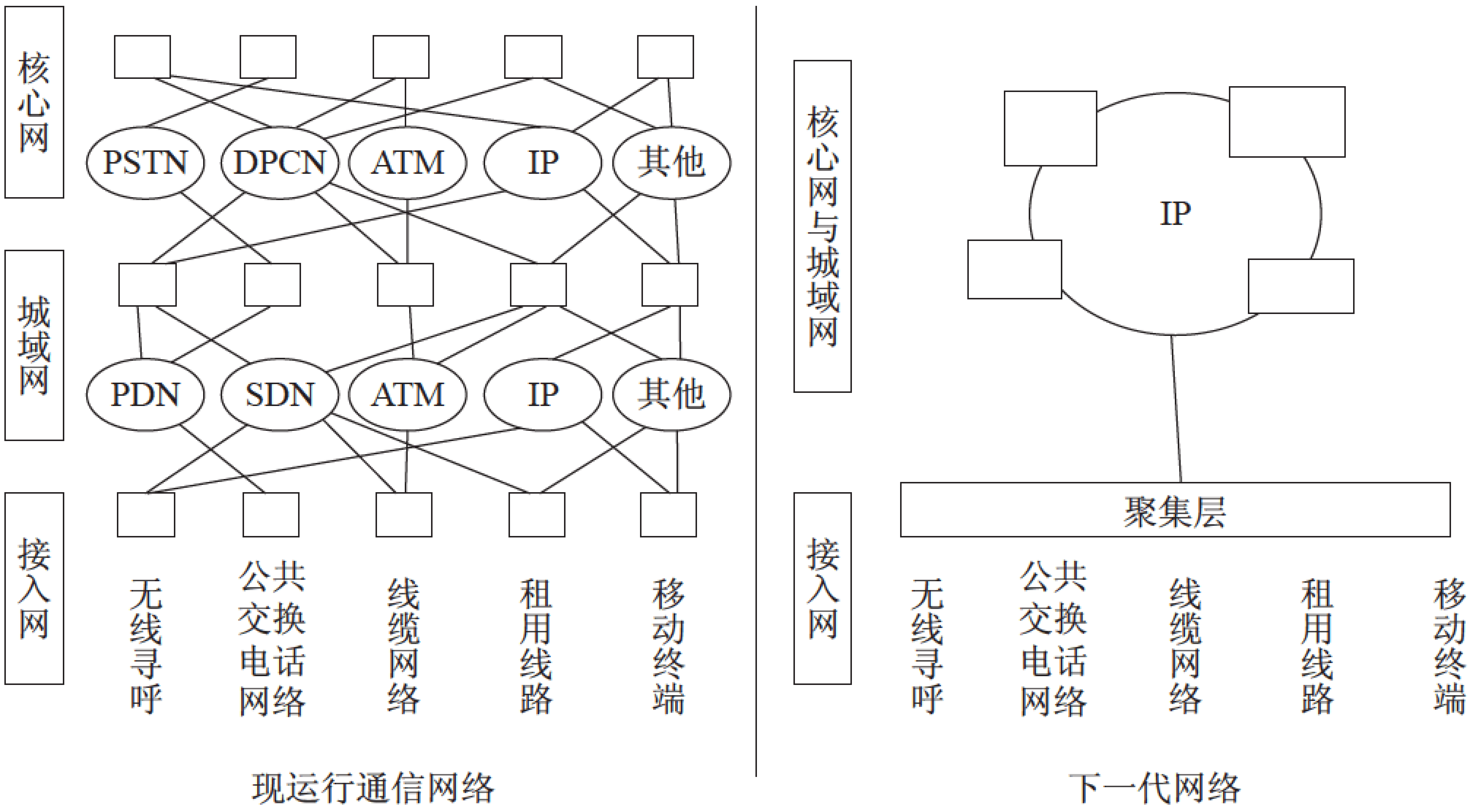


图 3-2　5G 移动网络

5. 5G 的应用

随着目前电子制造业与软件业的快速发展，越来越多的革新产品层出不穷，此时的通信行业不仅要提供优质的服务，更要提供高质量的通信网络环境。现代通信不但要满足日常的语音与短信业务，还要提供强大的数据业务。5G 技术的发展可以给客户带来的最直的观感就是高速度、高兼容性。

根据目前 4G 中 TD-LTE 的官方统计数据来看，TD-LTE 可以带来 40Mb/s 的下载速度，这样的速度可以满足高清视频、高质量的音乐等大量数据传输的数据业务。而 5G 的下载速度可以达到 3.6Gb/s。就目前市面上的硬盘读写速度来说，普通的硬盘读写速度达到了 100Mb/s，而所谓突破了读写瓶颈的固态硬盘的读写速度达到了 250Mb/s。可以看出，5G 的速度远远超过了硬盘的读写速度，这意味着，传统的储存设备将在 5G 网络中失去位置。可以做大胆的假设，未来的移动终端是没有储存设备的，所有储存将通过“云技术”实现。同样，从新型的 4K 显像技术来看，未来的视频像素将达到超视网膜的显示程度，这必然将视频的数据大小提高到新的程度，所以对于在线视频观看的要求就要更高，3.6Gb/s 的下载速度可以完全满足这样高清视频的在线应用。

5G通信技术的研发，势必给通信行业带来新一代的革新。根据目前中国运营商的运营收入成分，大多集中于语音、SMS 服务上，所谓的高速数据服务还在一个相对缓慢的发展期，即将商业化的 4G 通信技术将会有效地缓解运营商资本支出与收入不匹配的尴尬局面。但是，随着网络的日益强大，用户对网络的要求也更高，5G 的研发与发展也被业内重视起来。

3.1.3 互联网与物联网比较分析

互联网（Internet）是网络与网络之间串连成的庞大网络，这些网络以一组通用的协定相连，形成逻辑上的单一巨大的国际网络。这种将计算机网络互相连接在一起的方法称作“网络互联”，在这基础上发展出覆盖全世界的全球性互联网络称“互联网”，即是“互相连接一起的网络”。互联网并不等同万维网（World Wide Web），万维网只是基于超文本相互链接而成的全球性系统，是互联网所能提供的服务之一。

物联网（Internet of Things）指的是将无处不在（Ubiquitous）的末端设备（Devices）和设施（Facilities），包括具备“内在智能”的传感器、移动终端、工业系统、楼控系统、家庭智能设施、视频监控系统等和“外在使能”（Enabled）的，如贴上 RFID 的各种资产（Assets）、携带无线终端的个人与车辆等“智能化物件或动物”或“智能尘埃”（Mote），通过各种无线 / 有线的长距离 / 短距离通信网络实现互联互通（M2M）、应用大集成（Grand Integration）、以及基于云计算的 SaaS 营运等模式，提供安全可控乃至个性化的实时在线监测、定位追溯、报警联动、调度指挥、预案管理、远程控制、安全防范、远程维保、在线升级、统计报表、决策支持、领导桌面（集中展示的 Cockpit Dashboard）等管理和服务功能，实现对“万物”的“高效、节能、安全、环保”的“管、控、营”一体化。

简单讲，物联网是物与物、人与物之间的信息传递与控制，和传统的互联网相比，物联网有其鲜明的特征。

首先，它是各种感知技术的广泛应用。物联网上部署了海量的多种类型传感器，每个传感器都是一个信息源，不同类别的传感器所捕获的信息内容和信息格式不同。传感器获得的数据具有实时性，按一定的频率周期性地采集环境信息，不断更新数据。

其次，它是一种建立在互联网上的泛在网络。物联网技术的重要基础和核心仍旧是互联网，通过各种有线和无线网络与互联网融合，将物体的信息实时准确地传递出去。在物联网上的传感器定时采集的信息需要通过网络传输，由于其数量极其庞大，形成了海量信息，在传输过程中，为了保障数据的正确性和及时性，必须适应各种异构网络和协议。

再次，物联网不仅仅提供了传感器的连接，其本身也具有智能处理的能力，能够对物体实施智能控制。物联网将传感器和智能处理相结合，利用云计算、模式识别等各种智能技术，扩充其应用领域。从传感器获得的海量信息中分析、加工和处理出有意义的数据，以适应不同用户的不同需求，发现新的应用领域和应用模式。

根据其实质用途可以归结为三种基本应用模式：

- 对象的智能标签。通过二维码，RFID 等技术标识特定的对象，用于区分对象个体，例如在生活中我们使用的各种智能卡，条码标签的基本用途就是用来获得对象的识别信息；此外通过智能标签还可以用于获得对象物品所包含的扩展信息，例如智能卡上的金额余额，二维码中所包含的网址和名称等。
- 环境监控和对象跟踪。利用多种类型的传感器和分布广泛的传感器网络，可以实现对某个对象的实时状态的获取和特定对象行为的监控，如使用分布在市区

的各个噪音探头监测噪声污染，通过二氧化碳传感器监控大气中二氧化碳的浓度，通过 GPS 标签跟踪车辆位置，通过交通路口的摄像头捕捉实时交通流程等。

- 对象的智能控制。物联网基于云计算平台和智能网络，可以依据传感器网络用获取的数据进行决策，改变对象的行为进行控制和反馈。例如根据光线的强弱调整路灯的亮度，根据车辆的流量自动调整红绿灯间隔等。

3.1.4 智慧城市的含义及其新技术

智慧城市就是把信息技术与城市建设融合在一起，将城市信息化推向更高阶段。它基于互联网、云计算、大数据、物联网、社交网络等工具和方法，实现全面透彻的感知、宽带泛在的互联和智能融合的应用。智慧城市将成为一个城市的整体发展战略，作为经济转型、产业升级、城市提升的新引擎，达到提高民众生活幸福感、企业经济竞争力、城市可持续发展的目的，体现了更高的城市发展理念和创新精神。伴随着网络帝国的崛起、移动技术的融合发展以及创新理念的广泛普及，知识社会环境下的智慧城市是继数字城市之后信息化城市发展的高级形态。

智慧城市包含智慧技术、智慧产业、智慧（应用）项目、智慧服务、智慧治理、智慧人文、智慧生活等内容。对智慧城市建设而言，智慧技术的创新和应用是手段和驱动力，智慧产业和智慧（应用）项目是载体，智慧服务、智慧治理、智慧人文和智慧生活是目标。具体来说，智慧（应用）项目体现在智慧交通、智能电网、智慧物流、智慧医疗、智慧食品系统、智慧药品系统、智慧环保、智慧水资源管理、智慧气象、智慧企业、智慧银行、智慧政府、智慧家庭、智慧社区、智慧学校、智慧建筑、智能楼宇、智慧油田、智慧农业等诸多方面。

有两种驱动力推动智慧城市的逐步形成，一是以物联网、云计算、移动互联网为代表的新一代信息技术，二是知识社会环境下逐步孕育的开放的城市创新生态。前者是技术创新层面的技术因素，后者是社会创新层面的社会经济因素。由此可以看出创新在智慧城市发展中的驱动作用。智慧城市不仅需要物联网、云计算等新一代信息技术的支撑，更要培育面向知识社会的下一代创新（创新 2.0）。信息通信技术的融合和发展消融了信息和知识分享的壁垒，消融了创新的边界，推动了创新 2.0 形态的形成，并进一步推动各类社会组织及活动边界的“消融”。创新形态由生产范式向服务范式转变，也带动了产业形态、政府管理形态、城市形态由生产范式向服务范式的转变。如果说创新 1.0 是工业时代沿袭的面向生产、以生产者为中心、以技术为出发点的相对封闭的创新形态，创新 2.0 则是与信息时代、知识社会相适应的面向服务、以用户为中心、以人为本的开放的创新形态。

建设智慧城市，也是转变城市发展方式、提升城市发展质量的客观要求。通过建设智慧城市，及时传递、整合、交流、使用城市的经济、文化、公共资源、管理服务、市民生活、生态环境等各类信息，提高物与物、物与人、人与人的互联互通、全面感知和

利用信息能力，从而能够极大提高政府管理和服务的能力，极大提升人民群众的物质和文化生活水平。建设智慧城市，会让城市发展更全面、更协调、更可持续，会让城市生活变得更健康、更和谐、更美好。

对比数字城市和智慧城市，我们可以发现以下六方面的差异。

其一，当数字城市通过城市地理空间信息与城市各方面信息的数字化在虚拟空间再现传统城市，智慧城市则注重在此基础上进一步利用传感技术、智能技术实现对城市运行状态的自动、实时、全面透彻的感知。

其二，当数字城市通过城市各行业的信息化提高了各行业管理效率和服务质量，智慧城市则更强调从行业分割、相对封闭的信息化架构迈向作为复杂巨系统的开放、整合、协同的城市信息化架构，发挥城市信息化的整体效能。

其三，当数字城市基于互联网形成初步的业务协同，智慧城市则更注重通过泛在网络、移动技术实现无所不在的互联和随时随地随身的智能融合服务。

其四，当数字城市关注数据资源的生产、积累和应用，智慧城市更关注用户视角的服务设计和提供。

其五，当数字城市更多注重利用信息技术实现城市各领域的信息化以提升社会生产效率，智慧城市则更强调人的主体地位，更强调开放创新空间的塑造及其间的市民参与、用户体验，及以人为本实现可持续创新。

其六，当数字城市致力于通过信息化手段实现城市运行与发展各方面功能，提高城市运行效率，服务城市管理和发展，智慧城市则更强调通过政府、市场、社会各方力量的参与和协同实现城市公共价值塑造和独特价值创造。

智慧城市不但广泛采用物联网、云计算、人工智能、数据挖掘、知识管理、社交网络等技术工具，也注重用户参与、以人为本的创新 2.0 理念及其方法的应用，构建有利于创新涌现的制度环境，以实现智慧技术高度集成、智慧产业高端发展、智慧服务高效便民、以人为本持续创新，完成从数字城市向智慧城市的跃升。智慧城市将是创新 2.0 时代以人为本的可持续创新城市。

3.2　电力物联网工程技术基础知识

智能电网概念及主要特点，微电网、微能源网与能源互联网，基于物联网的电力系统发展分析是本节介绍的主要内容。

3.2.1　智能电网概念及主要特点

智能电网是以包括各种发电设备、输配电网络、用电设备和储能设备的物理电网为

基础，将现代先进的传感测量技术、网络技术、通信技术、计算技术、自动化与智能控制技术等与物理电网高度集成而形成的新型电网，它能够实现可观测（能够监测电网所有设备的状态）、可控制（能够控制电网所有设备的状态）、完全自动化（可自适应并实现自愈）和系统综合优化平衡（发电、输配电和用电之间的优化平衡），它以充分满足用户对电力的需求和优化资源配置、确保电力供应的安全性、可靠性和经济性、满足环保约束、保证电能质量、适应电力市场化发展等为目的，实现对用户可靠、经济、清洁、互动的电力供应和增值服务。

智能电网是应用信息通信技术，实现电能到用户的传输、分配、管理和控制，以达到节约能源和成本实现对电力资源、电力客户、电力资产、电力运营、电力交易的产业链全过程的持续监视，利用“随需应变”的信息提高电网公司的管理水平、工作效率、电网可靠性和服务水平的新一代电力网络。

与传统电网比，智能电网进一步扩展对电网的监视范围和监视详细程度，整合各种管理信息和实时信息，为电网运行和管理人员提供更全面、完整和细致的电网状态视图，并加强对电力业务的分析和优化，改变过去那种基于有限的、时间滞后的信息进行电网管理的传统方式，利用电网实时信息和综合管理信息，与企业决策信息互相交换，促进电网企业实现更精细化和智能化的运行和管理。

1. 数据采集

在实时数据采集上，智能电网大大扩展了监视控制与数据采集系统（Supervisory Control And Data Acquisition，SCADA）的数据采集范围和数量，提高了电网的“可视化”。

2. 数据传输

智能电网需要采集大量的设备状态数据和客户计量数据。这两类数据的特点是：数据量大，采集点多且分散，对实时性要求比电网实时运行数据低，数据需要被多个系统和业务部门使用。

3. 信息集成

众多的自动化系统和管理信息系统积累了大量的数据。但是，长期以来条块分割和部门壁垒，已经成为实现“数字化电网、信息化企业”的主要障碍。

4. 动态作业管理

动态作业管理使得数据在传感器、控制中心和作业人员之间能够及时有效地流动，提高运维工作的效率和准确性。能够从各种电压、电流传感器、智能表计、设备状态监测传感器和线路监视传感器中，获得更多准确、及时的数据。通过这些数据，能够预测故障，在故障发生时，能够显示故障的位置和可能的故障原因。另外，动态作业管理能够降低作业成本，减少管理费用。

5. 基于 IP 通信的 SCADA

采用标准的 Internet 通信协议，摆脱了对不同设备制造商提供的私有通信协议的依赖。IP SCADA 为智能电网中的传感器、智能表计和手持移动设备（PDA）等提供数据通信支持，能够有效降低通信成本 20% 以上。

以客户为中心：提供更多样化的电力产品给客户，建设更好的渠道与用户实现互动，提供高附加值的服务，实现灵活的需求管理，降低电力价格。

支持分布式和可再生资源的接入：坚强的电网架构可以支持各类非传统电源的接入，减少网损和污染气体排放。

负载和电源的本地交互：用户可以优先使用附近的分布式能源，减轻骨干电网的负担，提高供电可靠性。

高级自动化和分布式智能：以普遍使用的智能化设备为基础，电网具备自动识别和处理电网事故的能力。

灵活的电网运行：运行需求侧响应和管理，能灵活适应电网结构和电力供求变化，保障电力供应。

面向服务的架构：以面向服务的架构为基础，建设灵活开放的信息系统，实现各种服务的有效整合。

更可靠、安全的电力供应：提高电网输送容量和发电容量，改善电力供应的可靠性和质量，实现更灵活的电能存储。

其重要意义体现在以下几个方面。

（1）具备强大的资源优化配置能力。我国智能电网建成后，将实现大水电、大煤电、大核电、大规模可再生能源的跨区域、远距离、大容量、低损耗、高效率输送，区域间电力交换能力明显提升。

（2）具备更高的安全稳定运行水平。电网的安全稳定性和供电可靠性将大幅提升，电网各级防线之间紧密协调，具备抵御突发性事件和严重故障的能力，能够有效避免大范围连锁故障的发生，显著提高供电可靠性，减少停电损失。

（3）适应并促进清洁能源发展。电网将具备风电机组功率预测和动态建模、低电压穿越和有功无功控制以及常规机组快速调节等控制机制，结合大容量储能技术的推广应用，对清洁能源并网的运行控制能力将显著提升，使清洁能源成为更加经济、高效、可靠的能源供给方式。

（4）实现高度智能化的电网调度。全面建成横向集成、纵向贯通的智能电网调度技术支持系统，实现电网在线智能分析、预警和决策，以及各类新型发输电技术设备的高效调控和交直流混合电网的精益化控制。

（5）满足电动汽车等新型电力用户的服务要求。将形成完善的电动汽车充放电配套基础设施网，满足电动汽车行业的发展需要，适应用户需求，实现电动汽车与电网的高效互动。

（6）实现电网资产高效利用和全寿命周期管理。可实现电网设施全寿命周期内的统筹管理。通过智能电网调度和需求侧管理，电网资产利用小时数大幅提升，电网资产利用效率显著提高。

（7）实现电力用户与电网之间的便捷互动。将形成智能用电互动平台，完善需求侧管理，为用户提供优质的电力服务。同时，电网可综合利用分布式电源、智能电能表、分时电价政策以及电动汽车充放电机制，有效平衡电网负荷，降低负荷峰谷差，减少电网及电源建设成本。

（8）实现电网管理信息化和精益化。将形成覆盖电网各个环节的通信网络体系，实现电网数据管理、信息运行维护综合监管、电网空间信息服务以及生产和调度应用集成等功能，全面实现电网管理的信息化和精益化。

（9）发挥电网基础设施的增值服务潜力。在提供电力的同时，服务国家“三网融合”战略，为用户提供社区广告、网络电视、语音等集成服务，为供水、热力、燃气等行业的信息化、互动化提供平台支持，拓展及提升电网基础设施增值服务的范围和能力，有力推动智能城市的发展。

（10）促进电网相关产业的快速发展。电力工业属于资金密集型和技术密集型行业，具有投资大、产业链长等特点。建设智能电网，有利于促进装备制造和通信信息等行业的技术升级，为我国占领世界电力装备制造领域的制高点奠定基础。

与现有电网相比，智能电网体现出电力流、信息流和业务流高度融合的显著特点，其先进性和优势主要表现在以下几方面。

（1）具有坚强的电网基础体系和技术支撑体系，能够抵御各类外部干扰和攻击，能够适应大规模清洁能源和可再生能源的接入，电网的坚强性得到巩固和提升。

（2）信息技术、传感器技术、自动控制技术与电网基础设施有机融合，可获取电网的全景信息，及时发现、预见可能发生的故障。故障发生时，电网可以快速隔离故障，实现自我恢复，从而避免大面积停电的发生。

（3）柔性交 / 直流输电、网厂协调、智能调度、电力储能、配电自动化等技术的广泛应用，使电网运行控制更加灵活、经济，并能适应大量分布式电源、微电网及电动汽车充放电设施的接入。

（4）通信、信息和现代管理技术的综合运用，将大大提高电力设备使用效率，降低电能损耗，使电网运行更加经济和高效。

（5）实现实时和非实时信息的高度集成、共享与利用，为运行管理展示全面、完整和精细的电网运营状态图，同时能够提供相应的辅助决策支持、控制实施方案和应对预案。

（6）建立双向互动的服务模式，用户可以实时了解供电能力、电能质量、电价状况和停电信息，合理安排电器使用；电力企业可以获取用户的详细用电信息，为其提供更多的增值服务。

3.2.2 微电网、微能源网与能源互联网

当前，我国以煤为主的能源产业结构和能源分布不合理等问题亟待解决，因此我国应该大力发展微能源网，并逐步过渡到能源互联网。微能源网和传统电网的一个最主要区别就是微能源网可以对分布式能源进行就地消化、就地平衡，同时可以和大电网进行能量交换，因此微电网内部的控制和相关保护技术，和大电网相比有相应的区别。

1. 我国能源和国外能源的结构与分布不同

第一个特点是能源的结构以煤为主，和国外发达国家相比，结构是落后的。我们70%的能源结构水平在欧美和日本的发达国家是处于20世纪50年代的水平。21世纪初，国外特别是欧美发达国家，煤炭、石油、天然气占的比例大概是各占1/3，而我们现在国家仍然是以煤为主的结构。这就造成了今天我们看到的雾霾，燃煤排放的二氧化碳水平比燃气或者其他能源排放得要高。

第二个特点是能源分布不合理，能源分布主要在西部，负荷中心却在东部。以电为例，煤炭基地在内蒙、山西、甘肃、新疆，水电资源在西南、长江上游、负荷中心在东部。这造成能源的分布极不合理，造成西能东送的格局。从区域电网的结构来看，每个区域的电网基本上也是西能东送，或者西电东送的布局。

从电力方面统计，大概2/3的负荷是集中在东部地区，而2/3的能源在西部地区，有1/3的能源要从西部搬运到东部。正是由于这个原因，要考虑能源的就地消纳、就地生产，所以我们国家发布了一个规划，到2020年分布式能源所占的比例要大大提高，主要是光伏、小水电、微型天然气、风电和其他分布式能源。

2. 如何克服大范围接入的新能源难题

面对大范围接入的分布式能源，如波动式的太阳能、风能，如何进行控制。怎么满足分布式能源对可靠性的要求，对各种电力服务的要求。其中很重要的一个途径就是微能源网，可以从微电网逐步过渡到微能源网以及能源互联网。

例如，大电网主要是单向潮流、简单交互，从发电厂通过输电线路到用户，而微电网是内部循环，所以是双向操作。用户和电网之间可以交换能量，是双向流动，是主动交互，这是微电网和传统电网的本质区别。

如果微电网控制得好，对大电网有比较大的支撑作用。比如，大电网出故障了，微电网可以提供供电可靠性，可以更多、更好地消纳新能源和可再生能源，有更低的供电成本。微电网内部可以提升可再生能源的效率，特别是多种能源互补的时候。可以对大电网提供相关的辅助服务，如调频、调压服务，通过微电网内部控制措施，可以对相应的指标进行处理。

3. 微电网的关键技术

第一个是微电网内部分布式发电的控制技术。微电网的能量现在还没有完整的界定，从几十千瓦到几十兆瓦，所以运行方式要灵活，分布式电源要保证及时性和环保性。

第二个是控制保护技术。由于微电网分布式电源在用户侧，因此过去传统的控制和保护技术有一些不适应微电网的情况。

第三个是微电网的储能技术。随着储能成本逐渐降低，储能在平抑分布式可再生能源的波动性调节峰谷差的过程中发挥了很重要的作用。目前储能本身之所以没有广泛的应用，主要是因为经济性能低。随着储能成本的下降以及储能技术的不断成熟，对平抑可再生能源波动性，提高经济性、灵活性，会发挥很重要的作用。

第四个是微电网能量管理技术。如何管理分布式能源，如何管理微电网中的各类负荷调节，如何使之很好地协调运行，这是能量管理很重要的作用。

第五个是多个微网形成的微网群的协调和控制。比如，在法国里昂形成了十几个微电网群，微电网群之间的协调控制和互补运行是一项关键技术。

4. 从微电网向能源互联网的发展趋势

通过微电网的建设可以补充大电网对投资的不足，通过分布式能源和微电网本身的建设，可以降低配电系统对电能的需求，减少或者减缓配电网的投资。

多种能源互补，特别是用户侧，水、电、气各种能源的互补，将使将来电力市场的最终格局产生深远影响。也就是说，用户和电力之间会形成一定的关系，可以向配电网购电，也可以出售相关电能，所以参与效率会大大提高，竞争也会更加激烈。

从微电网、微能源网发展来的能源互联网是以互联网理念构建的一种新型信息和能源融合的网络，以智能电网为基础架构，融合了热、冷、气等多种能源形式，形成了智慧能源网络，能够实现分布式能源的广泛接入和市场化交易，从而最大程度地利用清洁低碳的可再生能源，实现能源的清洁、高效、便捷可持续利用，满足用户多元化的需求。

能源互联网可以分成两大类。

第一类是广域的能源互联网，即全球能源互联网，它是跨国、跨区域的，以超高压、特高压骨干网为核心，以大规模输送可再生能源为主要目的，实现跨国、跨洲、跨区域的大型能源基地可再生能源的、传输、交易。因此广域全球能源互联网具有广域资源配置和需求调节能力，是解决可再生能源可持续供应的重要手段。

第二类是局域的，地域的能源互联网，是以园区或者跨园区的配电网为核心纽带，目的是要消纳分布式可再生能源，通过各种技术实现多种能源的高效利用和多元化主体参与。

能源互联网的基层有基础设施层（包括管道、传感器）和通信层，最后形成数据资源。数据资源形成互动服务层，通过政策引导来实现能源互联网或者微能源网的高效、可靠、经济的运行。

能源互联网的基本架构，从供能侧包括可控、可调的大电网资源，包括可联网或者可以孤岛运行的小型微能源网，在微能源网中包括水、电、气各种资源的优化，通过信息流以及能量流的传输为用户服务。用能侧分多种类型的用户，用户的特性、曲线、消纳特征都不一样。在这种消纳过程中，微能源网可以提供有效的协调和控制，使供能侧和用能侧平衡。其中很重要的一个技术手段是通过综合能量管理平台管控能源和负荷的“三流”（能源流、信息流、业务流），最大限度地开发和利用可再生能源。

5. 能源互联网信息感知平台的分类

1）智能采集系统

通过智能采集系统把能源互联网底层的各种设备和用户运行的状态采集上来，实现对电、热、气、交通、用户、气象以及各种生产调度进行全方位的监控采集，得到完整的微能源网的数据信息。

2）智能通信与信息系统

应用端最近距离的时候通信手段是多元化的，应用端最近距离手段是多种多样的，包括微波、载波、公用网等，构成一个信息系统。

3）能量和负荷的预测

预测的精度准不准，是能量精确管理和高效利用的重要前提。预测有很多方法，包括对历史数据的积累，通过不同的预测模型算法得到一些结果。特别是在开放的输电端市场中，预测显得更加重要。直供要求预测精度 95% ～ 105%，预测误差不能超过 5%。如果预测电量低于 95%，市场就有惩罚措施。如果高于 105%，就不再享受大用户直供的政策了。

4）多能源优化调度

除了电，还有天然气、热力、水，能源互联网的多能互补可以形成优化。在能源互联网协同优化调度的过程中，也集成了相关优化算法以及管理算法，对分布式能源储能和负荷形态进行调控。优化调度有多种方法，其中主要是分层和分布式两类算法。在多能优化调度中，为了保证能安全可靠地运行，智能保护和控制也很关键。

5）需求侧响应

用户如何能够和电源、发电侧进行友好互动，要有需求响应策略和相关的框架。

6）高级应用服务

这是指微能源网、能源互联网的一些服务。首先包括高级能效服务，如何帮助用户节能，对能耗、污染物排放进行分析，进行能效诊断和相关的统计。其次包括用户定制的服务，未来微能源网和能源互联网应该是对用户一对一的定制服务。还有电网辅助服务，重要的是调频、调风服务，电网出现故障的时候要有相应的备用。

整个能源互联网管理平台从智能决策、智能控制以及相关的应用系统来实现能源互联网优化的调控。微电网、微能源网和能源互联网将对国家能源高效消纳和平稳运行起到重要作用。

3.2.3 基于物联网的电力系统发展分析

电力行业是关系民生的基础行业，随着信息化和网络技术的发展，电力系统的信息化进程也得到了进一步发展。从早期的生产过程自动控制，到电力系统信息综合管理，再到“智能电网”的建设热潮，通过结合计算机技术、网络技术、自动化控制技术以及管理技术，电力系统在物理结构、物理性能、人员状况、经济管理等各方面的信息采集与控制技术日趋完善。其最终目的是为了优化电力的生产、传输和使用，提高系统的安全性和可靠性。基于物联网的电力系统应用（电力物联网）的基本架构和关键技术，探讨电力物联网与智能电网融合的发展趋势，并进一步总结出融合建设中的关键问题。

1. 物联网的关键技术

物联网是指通过各类传感设备，如射频识别（RFID）设备、红外感应器、视频监控系统、GPS、激光扫描仪等把物品通过互联网连接起来，使物品之间产生不经人类干预的信息传递与控制，从而实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。物联网的出现，增加了各类系统中基础设施建设与后台计算机软件应用之间的联系，打破了人们对两者之间互相独立的惯性思维。通过物联网，物体与物体之间也可以产生“交流”和“对话”，最终人们可以在后台统一的管理平台上把握整个系统各个环节的运行状况信息。具体到电力行业来说，人们可以把传感器嵌入到电力生产设备、电力传输网络以及电力使用设备等各个环节中去，去捕获、收集设备运行状况以及技术人员管理信息，进而通过软件应用系统进行处理和分析，提出辅助决策或预案，整合电力系统中环境基础设施、电气设备以及人员的控制和管理，使人们对可以更加精细和动态的管理电力生产、传输和使用。

物联网一般可划分为感知层、网络层、应用层三部分。感知层主要负责对客观物品的标识和感知，也就是物品信息的读取。网络层负责信息的传输。应用层负责对信息进行处理，以便于辅助决策和智能化自动管理。

感知层的关键技术为射频识别等无线自动识别技术。射频识别的基本原理是通过无线电信号去识别已标识的物体并读写其负载的信息，此技术不需要识别装置与被识别物体进行物理或光学的接触。RFID 由三部分组成，即标签（由耦合元件及芯片组成，每个标签具有唯一的电子编码，嵌入需标识目标物体上）、读取器（读取或写入标签信息的设备）和天线（在标签和读取器之间传递射频信号）。RFID 技术配合应用软件可以实现物体之间的信息交换和获取，可以用来追踪和管理几乎所有物理对象。读取器和标签之间一般采用半双工通信方式进行信息交换。在实际应用中，RFID 系统可进一步通过 Ethernet 或 WLAN 等实现对物体所承载信息的收集、传输和处理等管理功能。

网络层借助智能电网来实现，无须单独建设。经过多年的电力信息网络建设，我国目前已建成三纵四横的主干网络，形成了以光纤通信为主，微波、载波等多种通信方式

并存的电力通信网络格局。电力物联网的网络层相对于感知层和应用层是比较成熟的。相对完善的通信网络为电力物联网的实际应用提供了坚强的信息传输保障。

应用层主要运用云计算等智能计算技术。云计算（Cloud Computing）是一种新兴的计算模型，它是网格计算、分布式计算、负载均衡、虚拟化和网络存储等技术融合的产物。它将计算分布在大量的分布式计算机上，而非本地或远程的服务器上，用户通过网络按照需求去访问计算机和存储，使计算资源可动态部署并进行共享。用户的数据中心运行模式将更加贴近于互联网。

2. 电力物联网应用现状

我国目前正在大力进行智能电网的建设。物联网与智能电网有相似的地方，也有不同的侧重点。将电力物联网建设与智能电网相结合，既能利用智能电网已有的建设成果，又可以在物联感知方面弥补智能电网的不足，增加电力系统的控制力和洞察力，确实可以得到良好的完善效果。根据物联网概念的体系架构，可以将电力物联网分为感知层、网络层和应用层三部分。

感知层是利用射频识别等技术实现对智能电网各环节的电气设备、人员等相关信息的采集和捕获功能。其信息采集的完整度和准确度很大程度上依赖各类传感器的性能和质量。传感器设计和生产技术依附于材料、生产工艺和计测技术等，对基础技术要求非常高。目前，在电力系统某些环节下需使用的传感器在检测信息类型、精度、可靠性和低成本、低功耗方面还没有达到规模应用水平，成为物联网发展的瓶颈之一。此方面的提高还需依靠传感技术的进步和生产工艺的提高。

电力物联网的网络层经过多年的信息化建设，电网企业已建成了ERP、办公自动化、营销管理、生产管理等各类信息系统，覆盖了电网企业的生产、经营各环节，为物联网的应用提供了较好的切入点和良好的基础。相对于感知层和应用层，电力物联网的网络层是比较成熟的。

具体到实际应用中，电力系统采用多种通信传输方式对感知层采集、汇聚的信息进行远程传输。其中电力传输网的监控数据传输基本采用光纤进行通信，也有少量业务数据采用无线或电力线载波通信方式。在输电线路的在线监测、电气设备状态监测方面，除了主要的光纤传输外，无线技术也在某些方面得到应用，如基于无线网络的输电线路在线监测系统、无线数字测温系统等。在使用端的用电信息采集和智能用电方面，应用的通信技术较为广泛，主要包括窄带电力线通信、宽带电力线通信、短距离无线通信等。

电力物联网的应用层是指利用各种计算机、数据仓库和数据挖掘等技术，对从感知层和网络层传输过来的海量系统运行状态和管理数据进行分析处理，从而实现对各环节的智能化控制，为用户的最终决策提高辅助参考或预案。

目前，电力物联网的研究还处于起步阶段，但根据物联网概念的特点，在感知层和网络层主要依靠硬件设施的建设和投入，一旦形成物联网的规模化应用，随着感知范围的扩大，其接入的终端信息将呈现爆炸性增长，由此产生海量的数据和信息，对这些信

息的存储、转换、计算、分析、检索等处理逻辑将变得非常复杂。因此，电力物联网中的应用层是最具发展潜力的一层，也必将成为物联网发展应用的核心组成部分。

3. 物联网在智能电网中的应用

1）物联网与智能电网

智能电网是以物理电网为基础，利用双向网络，结合通信技术、信息化技术、自动化控制技术、决策支持系统技术、计算机技术，对物理电网进行信息化改造而形成的新兴网络。智能电网在电网发生大扰动和故障时，仍能保持对用户的供电能力；具有实时、在线和连续的安全评估和分析能力、强大的预警和预防控制能力；支持可再生能源的有序、合理接入，适应分布式电源和微电网的接入；支持电力市场运营和电力交易的有效开展，实现资源的优化配置，降低电网损耗，提高能源利用效率。因此，智能电网具有坚强、自愈、兼容和经济的特点。

电力物联网主要侧重于通过传感器和 RFID 技术对电力系统的生产、传输和使用等需要关注的地方进行信息采集，然后通过可靠的网络传输至统一的应用系统，再通过智能分析应用系统支持应用。其优点是增强了系统前端的各环节的信息采集深度以及后台应用系统对信息的处理和分析，进一步优化了电力系统的智能性和管理性，形成一个智慧型的系统。

物联网是智能电网的有效补充，可以看出物联网与智能电网在支撑技术和建设内容上，尤其是网络需求方面有相似之处。但两者在建设目的和具体应用又有不同的侧重点。智能电网整合了系统数据，发挥了中央电力体系的集成作用，实现有效的临界负荷保护，实现各种电源和客户终端与电网的无缝互连，其建设目的为优化电力传输管理体系和促进能源的节约。物联网则是在重要电气设备上安装传感器，实时监测设备运行状态，进而进行辅助决策和风险预警，其建设目的为设备信息的汇聚、处理和管理。在业务应用方面，智能电网主要为电力传输的优化和管理，而物联网则偏重于设备属性与控制信息的交互。因此，通过合理利用智能电网的建设成果，将电力物联网与智能电网有机结合，必将进一步提高现有电力系统的安全性、可靠性和可用性。

2）物联网在智能电网中的应用场景

（1）电力设备监测。在电力生产端，基于物联网的概念，在常规生产机组内部部署传感监测点，捕获机组的运行状态信息，包括电力设备的技术指数和运行参数，提高智能电网的状态监测水平。对水电企业来说，通过在水电站坝体设置感知网络，可以监测坝体变化情况，对水库可能存在的风险进行预警。同理，物联网的技术也可对风能、太阳能等新能源发电进行监测、控制和功率预测。

利用物联网技术，进一步提高了电力传输物理网络的感知能力和洞察力，实现联合处理、综合判断等功能，提高了电力生产的技术水平和智能化水平。在输电线路状态的在线监测中，通过在塔基下、杆塔上及输电线路上安装地埋振动传感器、壁挂振动传感器、倾斜传感器、距离传感器、防拆螺栓等装置采集传输线路环节的状态信息。其可监

测的主要内容包括气象环境、导地线微风振动、导线温度和弧垂、输电线路风偏、覆冰、杆塔倾斜等状态信息。

（2）电力生产管理。由于电力生产技术的复杂性和多样性，导致电力生产现场的管理难度较大。管理不善往往会带来误操作、误进入等安全隐患。利用物联网技术可以采取工作人员的身份识别、电子工作票管理、工作环境监测、远程视频监控等手段，实现指挥中心与现场技术人员的实时通信。在巡检管理方面，通过射频识别、GPS 定位、GIS 系统以及无线通信网，监控设备运行环境，掌握各电力设备的运行状态数据。同时，通过识别设备，实现人员的到位监督，指导巡检人员按照标准化和规范化的工作流程进行检修和工作等。

在日常的资产管理方面，将射频识别技术和电子标签系统应用于电力资产，进行资产的身份管理、状态监测以及资产全寿命周期管理，从而科学地提高管理水平，实现管理人员在统一平台上进行各方面的管理工作。

（3）电力使用管理。智能电网本身可以实现智能用电双向交互和富裕电力的回售，使用户的用电情况有所反馈，结合物联网技术，可以对用电信息进行采集、促进家居智能化和家庭能效的管理，为供电可靠性、用电效率以及节能减排提供了技术保障。

在家居智能化方面，通过在各类家用电器中内嵌智能采集模块和通信模块，使家用电器形成一个智能化网络，完成对家用电器运行状态的监测、统计分析以及控制。在具体应用中，通过建立门磁报警、窗磁报警、红外周界报警、可燃气体监测、有害气体监测等感知系统，实现家庭安全防护；通过结合光纤复合低压电缆、智能交互终端、无线通信技术和电力线载波技术，可以实现水、电、气表自动抄收和自主缴费以及用户与电网的交互功能。

3）规划设计和实施阶段的注意事项

在应用场景中，可以看出运用电力物联网的建设思想，确实提高了智能电网的实际性能、运行状态洞察力，丰富了管理手段。但因为物联网与智能电网的相似性，尤其是在网络层，在实际的系统融合建设中应避免重复建设问题。要将物联网与智能电网进行有机的整合，需要统筹规划，合理安排设计和建设计划。在电力系统的规划设计和实施阶段应注意以下事项。

（1）在规划阶段，需要注重电力系统的协调发展。例如，在智能电网的初步规划中应注意对物联网采集、通信、线路等各类拟建系统的设备或接口进行预留，在应用层需要注意相似业务的整合和集成。

（2）在电力系统的设计阶段，需要注重传输协议与体系的兼容性。目前，在网络层两个体系可以通过 TCP/IP 等协议进行数据包的结合，但在接入层面的具体标准、协议则过于分散。如何将传感技术、RFID 技术、配网自动化技术、低压集抄与负控技术、M2M 技术等各类技术协议统一结合，是在设计阶段需重点考虑的内容。

（3）在系统的实施阶段，需重点考虑统筹规范，实现建设成果的共享和业务优势的互补，避免重复建设和浪费。例如，将智能电网成熟的网络通信方案与电力物联网的

功率、电能量、运行环境等信息采集、控制技术相结合，保证电能量信息的可靠性；将物联网的“全面感知”与智能电网的节能控制、需求侧管理结合，保证电能的合理调度与分配以及分布式电源的有序接入等。

随着传感器技术和决策分析技术的进步，物联网技术必将继续推进电力系统的发展与完善，电力物联网将具有持续的经济价值和研究价值。

3.3 区块链技术和应用基础知识

区块链技术发展路径及生态、国内外区块链技术发展现状、区块链与新一代信息技术、区块链技术典型应用领域是本节介绍的主要内容。

3.3.1 区块链技术发展路径及生态

1. 概述

当前，全球新一轮科技革命和产业变革持续深入，国际产业格局加速重塑，创新成为引领发展的第一动力。在这一轮变革中，信息技术是全球研发投入最集中、创新最活跃、应用最广泛、辐射带动作用最大的领域，是全球技术创新的竞争高地，是引领新一轮变革的主导力量。

区块链是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术在互联网时代的创新应用模式。区块链技术被认为是继大型机、个人电脑、互联网之后计算模式的颠覆式创新，很可能在全球范围引起一场新的技术革新和产业变革。联合国、国际货币基金组织，以及美国、英国、日本等国家对区块链的发展给予高度关注，积极探索推动区块链的应用。目前，区块链的应用已延伸到物联网、智能制造、供应链管理、数字资产交易等多个领域，将为云计算、大数据、移动互联网等新一代信息技术的发展带来新的机遇，有能力引发新一轮的技术创新和产业变革。

2. 区块链技术发展路径

区块链技术起源于化名为“中本聪”（Satoshi Nakamoto）的学者在 2008 年发表的奠基性论文《比特币：一种点对点电子现金系统》。狭义上，区块链是一种按照时间顺序将数据区块以顺序相连的方式组合成的一种链式数据结构，并以密码学方式保证的不可篡改和不可伪造的分布式账本。广义上，区块链技术是利用块链式数据结构来验证与存储数据、利用分布式节点共识算法来生成和更新数据、利用密码学的方式保证数据传输和访问的安全、利用由自动化脚本代码组成的智能合约来编程和操作数据的一种全新

的分布式基础架构与计算范式。目前，区块链技术被很多大型机构称为是彻底改变业务乃至机构运作方式的重大突破性技术。同时，就像云计算、大数据、物联网等新一代信息技术一样，区块链技术并不是单一信息技术，而是依托于现有技术，加以独创的组合及创新，从而实现以前未实现的功能。

3. 区块链技术来源

1）P2P 网络技术

P2P 网络技术是区块链系统连接各对等节点的组网技术，学术界将其翻译为对等网络，在多数媒体上则被称为“点对点”或“端对端”网络，是建构在互联网上的一种连接网络。不同于中心化网络模式，P2P 网络中各节点的计算机地位平等，每个节点有相同的网络权力，不存在中心化的服务器。所有节点间通过特定的软件协议共享部分计算资源、软件或者信息内容。在比特币出现之前，P2P 网络计算技术已被广泛用于开发各种应用，如即时通信软件、文件共享和下载软件、网络视频播放软件、计算资源共享软件等。P2P 网络技术是构成区块链技术架构的核心技术之一。

2）非对称加密算法

非对称加密算法是指使用公私钥对数据存储和传输进行加密和解密。公钥可公开发布，用于发送方加密要发送的信息，私钥用于接收方解密接收到的加密内容。公私钥的计算时间较长，主要用于加密较少的数据。常用的非对称加密算法有 RSA 和 ECC。区块链正是使用非对称加密的公私钥对来构建节点间信任的。

3）数据库技术

数据库技术涉及计算机技术发展的大半历程，是基础性技术，也是软件业的基石。数据库技术脱胎于软件业，将数据储存独立于代码，改变了此前数据处理软件的架构。数据库技术从早期的网状结构、层次结构发展到基于严密关系代数基础的关系型。关系型数据库用简单的二维表格集存储真实世界的对象及其联系，有业界统一的 SQL 语言，被极为广泛地用于构建各种系统和应用软件。世界互联网产生的海量数据催生了以键值（Key-Value）对为基础的分布式数据库系统。目前，世界上主要的互联网公司根据各自需要研发和构建了 NoSQL 数据库管理系统。在区块链系统建设方面，传统的关系型数据库和分布式键值数据均适用。

4）数字货币

数字货币（Digital money）又称为电子现金（Ecash）或电子货币（Emoney），视为对现实货币的模拟，涉及用户、商家和处于中心化地位的银行或第三方支付机构。数字货币是电子商务和网上转账的基础。现实中数字货币也指一类免密支付的卡，如公交卡。第一个数字货币方案于 1982 年由 Chaum 创造性地提出，致力于解决重复花费问题，使用了盲签名技术，可以完全保护用户隐私。完全匿名的数字货币不能满足政府和金融机构的监管要求，于是提出了匿名可控的概念。匿名可控即在适当条件下可以撤销匿名性且用户无法察觉，也可以是在审计时用户主动撤销匿名性。

4. 区块链 1.0——数字货币

2009 年初，比特币网络正式上线运行。作为一种虚拟货币系统，比特币的总量是由网络共识协议限定的，没有任何个人及机构能够随意修改其中的供应量及交易记录。在比特币网络成功运行多年后，部分金融机构开始意识到，支撑比特币运行的底层技术——区块链实际上是一种极其巧妙的分布式共享账本及点对点价值传输技术，对金融乃至各行各业带来的潜在影响甚至可能不亚于复式记账法的发明。从其实质分析，区块链就是一种无须中介参与，亦能在互不信任或弱信任的参与者之间维系一套不可篡改的账本记录的技术。

5. 区块链 2.0——智能合约

2014 年前后，业界开始认识到区块链技术的重要价值，并将其用于数字货币外的领域，如分布式身份认证、分布式域名系统、分布式自治组织等。这些应用称为分布式应用（DAPP）。用区块链技术架构从零开始构建 DAPP 非常困难，但不同的 DAPP 共享了很多相同的组件。区块链 2.0 试图创建可共用的技术平台并向开发者提供 BaaS 服务，极大提高了交易速度，大大降低资源消耗，并支持 PoW、PoS 和 DPoS 等多种共识算法，使 DAPP 的开发变得更容易。

随着区块链技术和应用的不断深入，以智能合约、DAPP 为代表的区块链 2.0，将不仅仅只是支撑各种典型行业应用的架构体系。在组织、公司、社会等多种形态的运转背后，可能都能看到区块链的这种分布式协作模式的影子。可以说，区块链必将广泛而深刻地改变人们的生活方式。区块链技术可能应用于人类活动的规模协调，甚至有人大胆预测，人类社会可能进入到区块链时代，即区块链 3.0。

6. 区块链类型

区块链系统根据应用场景和设计体系的不同，一般分为公有链、联盟链和专有链。公有链的各个节点可以自由加入和退出网络，并参加链上数据的读写，运行时以扁平的拓扑结构互联互通，网络中不存在任何中心化的服务端节点。联盟链的各个节点通常有与之对应的实体机构组织，通过授权后才能加入与退出网络。各机构组织组成利益相关的联盟，共同维护区块链的健康运转。专有链的各个节点的写入权限收归内部控制，而读取权限可视需求有选择性地对外开放。专有链仍然具备区块链多节点运行的通用结构，适用于特定机构的内部数据管理与审计。

7. 区块链发展生态

随着区块链技术的演进，越来越多的机构开始重视并参与到区块链技术的探索中来。从最初的以比特币、以太坊等公有链项目开源社区，到各种类型的区块链创业公司、风险投资基金、金融机构、IT 企业及监管机构，区块链的发展生态逐渐得到发展与丰富。

1）开源社区

不同于很多其他技术，区块链技术并非发源于科研院所，也不是来自于企业，而是发源于开源社区，并在社区中发展壮大，此后逐渐受到金融机构、IT 巨头等机构的关注。目前，具有代表性的区块链开源项目有两类。一类是以比特币、以太坊为代表的源自于技术社区的开源项目。这一类项目主要以公有链为主，大部分项目采用 PoW 作为共识机制。相应的社区组成包括开发者、矿工、代币持有者及代币交易平台等。另一类是由传统企业发起的区块链开源项目，最具代表性的便是 Linux 基金会，允许任何人加入网络及写入和访问数据。任何人在任何地理位置都能参与共识，每秒 3 ～ 20 次数据写入，授权公司和组织才能加入网络，参与共识、写入及查询数据，通过授权控制，可实名参与过程，可满足监管 AML/KYC 每秒 1000 次以上数据写入，公有链、联盟链、专有链的使用范围控制于一个公司范围内，改善可审计性，不完全解决信任问题。

2）产业联盟

随着区块链技术的发展，其在各行业的应用潜力开始受到参与者的关注。为了协调推进区块链技术及其应用发展，国内外先后成立各种类型的区块链产业联盟。例如，美国银行、花旗银行、纽约梅隆银行、德意志银行、法国兴业银行、摩根史丹利等国际大型金融机构参加的 R3 区块链联盟，万向控股、乐视金融、上海矩真等发起成立的分布式总账基础协议联盟（Chinaledger），微众银行、平安银行、招银网络、恒生电子等共同发起成立的金融区块链合作联盟（金联盟）。

3）骨干企业

目前，国内外互联网、IT 等领域的大量企业开始涉足区块链行业，着手研发或推出从基础设施到应用案例的一系列解决方案。其中，国内已经初步发展形成了一批区块链骨干企业。例如，万向控股于 2015 年 9 月成立了万向区块链实验室，开展区块链产业研究、开源项目赞助等活动，并建立了国内首个区块链云平台——万云（Wancloud）。此外，万向设立了专注于区块链领域的风险投资基金，已在全球范围内投资超过 30 个区块链初创公司，累计投资金额超 3000 万美金。2016 年 9 月，万向集团宣布未来 7 年还将投资 2000 亿人民币，在杭州建设以新能源汽车为核心产业的“万向创新聚能城”，该项目将全方位大规模应用区块链技术，成为迄今为止全球最大的区块链应用项目。蚂蚁金服在以公益为代表的普惠金融场景中利用区块链解决信任缺失的问题。万达网络科技积极加入国际区块链开源联盟，专注推动国内开源区块链技术发展，研发安全可控的自主区块链平台，同时将区块链技术融入智慧生活、物流网等领域，整合海量实体商业应用场景，实现实体产业的数字化转型升级，已内部试运行区块链征信及区块链资产交易所等应用。微众银行倡议发起金融区块链合作联盟，推出基于腾讯云的联盟链云服务，发布了基于联盟链技术的银行间联合贷款清算平台并已上线试运行。

4）初创公司

随着区块链技术的发展，区块链领域的初创公司如雨后春笋般涌现出来。这些初创

公司将区块链技术应用到包括金融与非金融在内的多个领域。其中，金融领域包含支付汇款、智能债券、资产发行与交易后清结算等应用。在非金融领域包括数字存证、物联网、供应链、医疗、公益、文化娱乐等应用。此外，还出现了一些为区块链开发者提供开发平台的技术型公司。

5）投资机构

资金是推动区块链技术发展不可或缺的力量之一，各类投资机构也是区块链生态的重要组成部分。由于区块链技术仍处于较为早期的阶段，风险投资机构是区块链领域内的主要投资力量。另外，以高盛为代表的传统金融机构在区块链投资领域也占据重要地位。随着区块链技术的快速发展，区块链领域的投资金额一直在成倍地增长。自 2009 年以来，全球已有数十亿美元的资金投入到区块链行业中。2015 年以前，主要的投资集中在与比特币相关的企业中，例如矿机芯片、交易平台、支付汇款、钱包服务等相关企业。随着区块链技术的发展，越来越多的资金投入在区块链技术研发及行业应用上，包括交易后清结算、智能合约、供应链、物联网、医疗、身份认证、数据存证、数据分析等。这些项目相对来说还处于比较早期的阶段。目前，区块链领域的投资金额仍处于线性增长阶段。其中，绝大多数的投资集中在北美，其次是欧洲，最后是亚洲。由于区块链技术发源于欧美，相应的区块链初创公司数量也远高于亚洲。

6）金融机构

自 2015 年以来，全球主流金融机构纷纷开始布局区块链，以高盛、摩根大通、瑞银集团为代表的银行业巨头分别成立各自的区块链实验室，发布区块链研究报告或申请区块链专利，并参与投资区块链初创公司。其中，高盛不仅参与投资了区块链创业公司 Circle，还在 2015 年 11 月提交了一份专利申请，描述了一种可以用于证券结算系统的全新数字货币 SETLcoin。美国存管信托和结算公司 DTCC、Visa、环球同业银行金融电讯协会 SWIFT 等金融巨头也相继宣布其区块链战略。其中，DTCC 于 2016 年 1 月发布了名为《拥抱颠覆》的白皮书，呼吁全行业开展协作，利用区块链技术改造传统封闭复杂的金融业结构，使其变得现代化、组织化和简单化。除此之外，上海证券交易所、纳斯达克、纽约证券交易所、芝加哥商品交易所等各国证券交易所也对区块链技术进行了深入的探索。其中，纳斯达克在 2015 年 12 月 30 日宣布通过其基于区块链的交易平台 Linq 完成了首个证券交易。

7）监管机构

区块链涉及包括金融在内的多个行业，各国监管机构在区块链技术的发展与落地中势必会发挥重要作用。当前，各国政府对以比特币为代表的数字货币政策定义不一。但对于区块链技术，各国政府普遍采取积极支持的态度。英国、新加坡政府相继推出了沙盒计划，以促进区块链领域内的创新。中国互联网金融协会也成立了区块链研究工作组，深入研究区块链技术在金融领域的应用及影响。

3.3.2　国内外区块链技术发展现状

2015 年下半年以来，“区块链”这个词开始成为全球各大监管机构、金融机构及商业机构（如摩根斯丹利、英国政府、花旗银行等）争相讨论的对象。从整体上看，参与讨论的金融机构普遍对区块链技术在改善其中后端流程效率及降低运作成本的可能性上有着较为积极的态度，部分国家政府对推动区块链技术和应用的发展也持积极态度。

1. 中国：积极探讨推动区块链技术和应用发展

2016 年 2 月，中国人民银行行长周小川在谈到数字货币相关问题时曾提及，区块链技术是一项可选的技术，并提到人民银行部署了重要力量研究探讨区块链应用技术。他认为，目前区块链存在占用资源过多的问题，不管是计算资源还是存储资源，都应对不了现在的交易规模。2016 年 9 月 9 日，中国人民银行副行长范一飞在 2015 年度银行科技发展奖评审领导小组会议中提出，各机构应主动探索系统架构转型，积极研究建立灵活、可延展性强、安全可控的分布式系统架构，同时应加强对区块链等新兴技术的持续关注，不断创新服务和产品，提升普惠金融水平。

2. 英国：区块链及分布式账本技术有颠覆性潜力

英国政府首席科学顾问在其《分布式账本：超越区块链》报告中指出，区块链技术能够为多种形式的服务提供新型的信任机制。英国政府首席科学顾问认为，分布式账本技术能够为英国的金融市场、供应链、福利管理、土地所有权登记乃至英国国民健康保健制度等领域带来极大的好处。此外，分布式账本技术凭借其技术特点，具有天然的抵御攻击的优势，因为网络中存在多个共享的数据库副本，即使没有网络的共识也能防止账本内容未经授权而被恶意篡改。这样，就能够解决中心化数据管理方案中可能存在的单点失效风险。英国政府首席科学顾问同时指出，分布式技术有可能改变数据管理体系中对个人信息隐私权的保护方式，让个人有权力决定个人记录的访问权，为不同的机构开放不同的信息访问权限。英国政府首席科学顾问认为，英国在金融技术领域有强大的先发优势，若借助分布式账本技术并探索其对公共服务及经济体系所能带来的益处，则有利于英国在新一轮的金融技术革命中抢占先机。针对分布式账本技术使用过程中的监管问题，提出了“法律治理”与“技术治理”两大原则，认为新时代的金融体系既需要沿用已有的法律体系监管模式，也需要考虑如何使用技术要素对分布式账本技术系统进行管理。若能妥善处理“法律治理”与“技术治理”这两者之间的关系，分布式账本技术有利于降低金融机构的合规成本、降低系统性风险及提高金融机构运作的效率。

3. 美国：区块链技术简化企业注册成本

美国的特拉华州因其宽松的企业管理环境和法律体系被誉为是“企业注册圣地”。

目前，在特拉华州注册的企业数超过了 100 万，包括美国过半数的上市企业。美国特拉华州州长 Jack Markell 表示，区块链技术用于企业注册及股权管理等领域有很大的潜力，并通过与特拉华州律师协会合作，探索将区块链技术与该州法律体系结合起来，择机开始将特拉华州的企业档案管理记录转移到分布式账本体系的尝试。特拉华州政府在区块链上的一系列举措及计划，被统称为“特拉华州区块链倡议行动”。2015 年成立的智能证券公司 Symbiont 是该行动的一个参与者，该公司将区块链技术与现有的金融市场基础设施结合起来，用于股东信息登记、股份登记、资本管理等领域，作为特拉华州区块链倡议行动的重要组成部分。Symbiont 公司认为，这个计划能够简化公司股权管理及股东权益管理等事项，从而让在特拉华州注册的公司受益。

4. 俄罗斯：研究区块链在金融领域的潜在应用

2016 年上半年，俄罗斯央行发布的一项研究计划表示，将对区块链技术在金融领域的应用进行研究，这与其对比特币的态度有较大的差距。目前，俄罗斯央行发布的信息显示已成立了一个专门研究前沿科技及金融市场创新技术的工作小组，对分布式账本、区块链技术及多种金融科技领域的新成果展开调查和研究。俄罗斯央行行长 Elvira Nabiullina 表示，该国央行正在密切关注及监控区块链基础的发展，并对其创新金融领域的可能性表示关注。

5. 欧盟：区块链技术可改进交易后流程

欧盟的最高证券监管机构——欧洲证券及市场管理局（ESMA）执行董事 Verena Ross 称，区块链及分布式账本技术有助于改进交易后流程。该机构认为，区块链可在结算、所有权记录、证券相关服务及抵押品管理等领域带来成本及效率上的改善。针对区块链技术的应用可能带来的风险问题，ESMA 认为需要关注其安全性。此外，该机构还意识到分布式账本技术与现有的中心化系统，如交易平台，在一段相当长的时期内可能是共存的，因此也特别关注区块链技术与现有的各种关键金融系统之间的互操作性。另外，ESMA 认为，一旦区块链及分布式账本技术能够解决交易量、可扩展性、隐私保护等问题，则会带来降低成本、提高市场效率的好处，并有助于降低中心化系统网络犯罪活动出现的概率。ESMA 对区块链及分布式账本技术的看法，与美国 DTCC 颇为一致。DTCC 指出，当今的金融市场是建立在不同的服务提供商及市场基础设施所组成的庞大网络上的，在这个庞大的网络中，存在各种互相孤立的数据系统及运作体系，这极大地影响了金融市场效率的进一步提升。DTCC 认为，区块链及分布式账本技术有潜力降低金融机构数据管理、风险控制及清算、结算和对账的成本；同时，分布式账本技术的发展需要引入金融产业参与者的沟通及协调机制，以免各种互不兼容的分布式账本技术标准与体系互相孤立，否则现有金融系统基础设施缺乏互操作性、互通性和孤立的问题也会再次在分布式账本技术体系中出现。

6. 新加坡：银行应持续关注技术变革

新加坡总理李显龙表示，银行业正在面临着全新的挑战，而不断进化的技术所推动的新型商业模式将会对银行业原有的商业模式带来冲击，区块链技术就是其中一个例子。他认为，区块链技术能够应用于全额结算、金融交易记录确认等领域，具有很大的应用潜力，因此新加坡的银行及监管机构必须对这项技术展开深入的研究，巩固新加坡的金融重镇地位。目前，新加坡金融管理局宣布成立了金融科技和创新组，并针对与区块链及其他金融科技相关的企业推出了“沙盒”试验机制，只要预先在这个体系中进行登记，企业就能在金融科技创新等事项上获得极大的自由度。新加坡是截至目前在亚洲范围内对区块链技术所持态度最为积极的国家之一。

3.3.3　区块链与新一代信息技术

随着新一轮产业革命的到来，云计算、大数据、物联网等新一代信息技术在智能制造、金融、能源、医疗健康等行业中的作用愈发重要。自确立为七大战略性新兴产业之一以来，我国新一代信息技术发展迅速，逐步成为各行业深化信息技术应用的方向。从国内外发展趋势和区块链技术发展路径来看，区块链技术和应用的发展需要云计算、大数据、物联网等新一代信息技术作为基础设施支撑，同时区块链技术和应用发展对推动新一代信息技术产业发展具有重要的促进作用。

1. 区块链与云计算

区块链技术的开发、研究与测试工作涉及多个系统，时间与资金成本等问题将阻碍区块链技术的突破，基于区块链技术的软件开发依然是一个高门槛的工作。云计算服务具有资源弹性伸缩、快速调整、低成本、高可靠性的特质，能够帮助中小企业快速低成本地进行区块链开发部署。两项技术融合，将加速区块链技术成熟，推动区块链从金融业向更多领域拓展。2015 年 11 月，微软在 Azure 云平台里面提供 BaaS 服务，并于 2016 年 8 月正式对外开放。开发者可以在上面以最简便、高效的方式创建区块链环境。IBM 也在 2016 年 2 月宣布推出区块链服务平台，帮助开发人员在 IBM 云上创建、部署、运行和监控区块链应用程序。

2. 区块链与大数据

区块链是一种不可篡改的、全历史的数据库存储技术，巨大的区块数据集合包含每一笔交易的全部历史。随着区块链应用的迅速发展，数据规模会越来越大，不同业务场景区块链的数据融合进一步扩大了数据规模和丰富性。区块链提供的是账本的完整性，数据统计分析的能力较弱。大数据具备海量数据存储技术和灵活高效的分析技术，极大提升区块链数据的价值和使用空间。区块链以其可信任性、安全性和不可篡改性，让更

多数据被解放出来，推进数据的海量增长。区块链的可追溯特性使得数据从采集、交易、流通，以及计算分析的每一步记录都可以留存在区块链上，使得数据的质量获得前所未有的强信任背书，也保证了数据分析结果的正确性和数据挖掘的效果。区块链能够进一步规范数据的使用，精细化授权范围。脱敏后的数据交易流通，则有利于突破信息孤岛，建立数据横向流通机制，并基于区块链的价值转移网络，逐步推动形成基于全球化的数据交易场景。

3. 区块链与物联网

物联网作为互联网基础上延伸和扩展的网络，通过应用智能感知、识别技术与普适计算等计算机技术，实现信息交换和通信，同样能满足区块链系统的部署和运营要求。另外，区块链系统网络是典型的 P2P 网络，具有分布式异构特征，而物联网天然具备分布式特征，网中的每一个设备都能管理自己在交互作用中的角色、行为和规则，对建立区块链系统的共识机制具有重要的支持作用。根据有关机构预测，2020 年全球的物联网设备数量将达到 250 亿台左右。随着物联网中设备数量的增长，如果以传统的中心化网络模式进行管理，将带来巨大的数据中心基础设施建设投入及维护投入。此外，基于中心化的网络模式也会存在安全隐患。区块链的去中心化特性为物联网的自我治理提供了方法，可以帮助物联网中的设备理解彼此，并让物联网中的设备知道不同设备之间的关系，实现对分布式物联网的去中心化控制。

4. 区块链与下一代移动通信网络

区块链是点对点的分布式系统，节点间的多播通信会消耗大量网络资源。随着区块链体量的逐步扩大，网络资源的消耗会以几何倍数增长，最终会成为区块链的性能瓶颈。5G 网络作为下一代移动通信网络，比 4G/LTE 的峰值传输速率 100m/s 快 100 倍。对于区块链而言，区块链数据可以达到极速同步，从而减少了不一致数据的产生，提高了共识算法的效率。另外，预计到 2020 年，大约有 500 亿部设备将连接到 5G 网络，并且将融合到物联网之中。下一代通信网络的发展，将极大提升区块链的性能，扩展区块链的应用范围。

5. 区块链与加密技术

现代信息的应用越来越趋于全球化和全民化，对于信息安全的要求除了防篡改、抗抵赖、可信等基础安全之外，更需要加强隐私保护、身份认证等方面的安全。从某种意义上看，区块链技术是因为现代密码学的发展才产生的，但今天区块链技术所用的密码学主要是 20 年前的密码学成果，还存在很多问题需要解决。将区块链技术应用于更多分布式的、多元身份参与的应用场景，现有的加密技术是否满足需求，还需要更多的应用验证，同时更需要深入整合密码学前沿技术，包括目前国际国内在零知识证明、多方保密计算、群签名、基于格的密码体制、全同态密码学等最新前沿技术。新兴的区块链

技术有助于推动信息化沟通模式从多对多沟通发展到物联网沟通模式，密码学需要不断创新才能满足趋于复杂的通信方式的安全需求。从某种程度上说，区块链技术在推动密码体系创新的同时，也给现代密码学带来新的发展契机。在区块链治理过程中，身份认证系统是第一要务，数字证书对于区块链技术也是极其重要的，区块链技术的发展对数字证书的发展和应用也有极大的促进作用。

6. 区块链与人工智能

基于区块链的人工智能网络可以设定一致且有效的设备注册、授权及完善的生命周期管理机制，有利于提高人工智能设备的用户体验及安全性。此外，若各种人工智能设备通过区块链实现互联、互通，则有可能带来一种新型的经济模式，即人类组织与人工智能、人工智能与人工智能之间进行信息的交互，甚至是业务的往来，而统一的区块链基础协议则可让不同的人工智能设备之间在互动过程中不断积累学习经验，从而实现人工智能程度的进一步提升。

3.3.4 区块链技术典型应用领域

目前，区块链的应用已从单一的数字货币应用，如比特币，延伸到经济社会的各个领域。考虑到各个行业应用的可行性、成熟度和重要性，这里介绍金融服务、供应链管理、文化娱乐、智能制造、社会公益、教育就业等6个行业的应用。另外，需要特别说明的是，除金融服务行业的应用相对成熟外，其他行业的应用还处于探索起步阶段。

1. 区块链与金融服务

金融服务是区块链技术的第一个应用领域。不仅如此，由于该技术所拥有的高可靠性、简化流程、交易可追踪、节约成本、减少错误以及改善数据质量等特质，使得其具备重构金融业基础架构的潜力。

区块链技术具有数据不可篡改和可追溯特性，可以用来构建监管部门所需要的、包含众多手段的监管工具箱，以利于实施精准、及时和更多维度的监管。同时，基于区块链技术能实现点对点的价值转移，通过资产数字化和重构金融基础设施架构，可达成大幅度提升金融资产交易后清、结算流程效率和降低成本的目标，并可在很大程度上解决支付所面临的现存问题。

2. 区块链与供应链管理

供应链是一个由物流、信息流、资金流共同组成的，并将行业内的供应商、制造商、分销商、零售商、用户串联在一起的复杂结构。区块链技术作为一种大规模的协作工具，天然地适用于供应链管理。

首先，区块链技术能使得数据在交易各方之间公开透明，从而在整个供应链条上形

成一个完整且流畅的信息流，这可确保参与各方及时发现供应链系统运行过程中存在的问题，并针对性地找到解决问题的方法，进而提升供应链管理的整体效率。其次，区块链所具有的数据不可篡改和时间戳的存在性证明的特质能很好地运用于解决供应链体系内各参与主体之间的纠纷，实现轻松举证与追责。最后，数据不可篡改与交易可追溯两大特性相结合可根除供应链内产品流转过程中的假冒伪劣问题。

3. 区块链与文化娱乐

文化娱乐是文化产业的重要组成部分，包括数字音乐、数字图书、数字视频、数字游戏等。文化娱乐产品涉及生产、复制、流通和传播等主要环节。随着“互联网 +”时代的到来，文化娱乐将迎来新的发展机遇。

使用区块链技术，可以通过时间戳、哈希算法对作品进行确权，证明一段文字、视频、音频等存在性、真实性和唯一性。一旦在区块链上被确权，作品的后续交易都会被实时记录，文化娱乐业的全生命周期可追溯、可追踪，这为司法取证提供了一种强大的技术保障和结论性证据。另外，文化娱乐的起点是创意，核心是内容，利用区块链技术，能将文化娱乐价值链的各个环节进行有效整合，加速流通，缩短价值创造周期。其次，利用区块链技术，可实现数字内容的价值转移，并保证转移过程的可信、可审计和透明。最后，基于区块链的政策监管、行业自律和民间个人等多层次的信任共识与激励机制，同时通过安全验证节点、平行传播节点、交易市场节点、消费终端制造等基础设施建设，不断提升文化娱乐行业的存储与计算能力，有助于文化娱乐业跨入全社会的数字化生产传播时代。

4. 区块链与智能制造

加快推进智能制造，是实施《中国制造 2025》的主攻方向，是落实工业化和信息化深度融合、打造制造强国的战略举措，更是我国制造业紧跟世界发展趋势、实现转型升级的关键所在。当前，我国正在加快实施智能制造工程，积极推动制造企业利用新一代信息技术提升研发设计、生产制造、经营管理等环节的数字化、网络化水平，实现智能化转型，以重塑制造业竞争新优势。

利用区块链技术，可有效采集和分析在原本孤立的系统中存在的所有传感器和其他部件所产生的信息，借助大数据分析，评估其实际价值，并对后期制造进行预期分析，能够帮助企业快速有效地建立更为安全的运营机制、更为高效的工作流程和更为优秀的服务。数据透明化使研发审计、生产制造和流通更为有效，同时为制造企业降低运营成本，提升良品率和降低制造成本，使企业具有更高的竞争优势。智能制造的价值之一就是重塑价值链，而区块链有助于提高价值链的透明度、灵活性，并能够更敏捷地应对生产、物流、仓储、营销、销售、售后等环节存在的问题。

5. 区块链与社会公益

随着互联网技术的发展，社会公益的规模、场景、辐射范围及影响力得到空前扩大，

“互联网 + 公益”、普众慈善、指尖公益等概念逐步进入公益主流。这些模式不仅解构了传统慈善的捐赠方式，同时推动公众的公益行为向碎片化、小额化、常态化方向发展。同时，各式各样的公益项目借助互联网，实现丰富多彩的传播，使公益的社会影响力被成百倍地放大。

区块链从本质上来说，是利用分布式技术和共识算法重新构造的一种信任机制，是用共信力助力公信力。区块链上存储的数据高可靠且不可篡改，天然适合用在社会公益场景。公益流程中的相关信息，如捐赠项目、募集明细、资金流向、受助人反馈等，均可以存放于区块链上，在满足项目参与者隐私保护及其他相关法律法规要求的前提下，有条件地进行公开公示。为了进一步提升公益透明度，公益组织、支付机构、审计机构等均可作为区块链系统中的节点，以联盟的形式运转，方便公众和社会监督，让区块链真正成为“信任的机器”，助力社会公益的快速健康发展。区块链中智能合约技术在社会公益场景也可以发挥作用。在一些更加复杂的公益场景，例如定向捐赠、分批捐赠、有条件捐赠等，就非常适合用智能合约来进行管理，使得公益行为完全遵从预先设定的条件，更加客观、透明、可信。

6. 区块链与教育就业

教育就业作为社会文化传授、传播的窗口，需要实现学生、教育机构以及用人就业单位之间的无缝衔接，以提高教育就业机构的运行效率和透明度。区块链系统的透明化、数据不可篡改等特征，完全适用于学生征信管理、升学就业、学术、资质证明、产学合作等方面，对教育就业的健康发展具有重要的价值。

利用区块链技术对现存运行方案不足之处进行优化，能有效简化流程和提高运营效率，并能及时规避信息不透明和容易被篡改的问题。利用分布式账本记录跨地域、跨院校的学生信息，方便追踪学生在校园时期所有正面以及负面的行为记录，能帮助有良好记录的学生获得更多的激励措施，并构建起一个良性的信用生态。利用区块链技术，可为学术成果提供不可篡改的数字化证明，为学术纠纷提供了权威的举证凭据，降低纠纷事件消耗的人力与时间。同时，这种数字化证明可以与已有的应用无缝整合，为每一个文字、图片、音频、视频加盖唯一的时间戳身份证明，交叉配合生物识别技术，从根本上保障了数据的完整性、一致性，保护了知识产权。

7. 区块链应用展望

尽管区块链技术还存在可扩展性、隐私和安全、开源项目不够成熟等问题，但是已有的应用充分证明了区块链的价值。未来一段时间内，随着区块链技术不断成熟，其应用将带来以下几个方面的价值。

一是推动新一代信息技术产业的发展。随着区块链技术应用的不断深入，将为云计算、大数据、物联网、人工智能等新一代信息技术的发展创造新的机遇。例如，随着万向、微众等重点企业不断推动 BaaS 平台的深入应用，必将带动云计算和大数据的发展。

这样的机遇将有利于信息技术的升级换代，也将有助于推动信息产业的跨越式发展。

二是为经济社会转型升级提供技术支撑。随着区块链技术广泛应用于金融服务、供应链管理、文化娱乐、智能制造、社会公益以及教育就业等领域，必将优化各行业的业务流程、降低运营成本，提升协同效率，进而为经济社会转型升级提供系统化的支撑。例如，随着区块链技术在版权交易和保护方面应用的不断成熟，将对文化娱乐行业的转型发展起到积极的推动作用。

三是培育新的创业创新机会。国内外已有的应用实践证明，区块链技术作为一种大规模协作的工具，能推动不同经济体内交易的广度和深度迈上一个新的台阶，并能有效降低交易成本。例如，万向将结合“创新聚能城”建设，构建区块链的创业创新平台，既为个人和中小企业创业创新提供平台支撑，又为将来应用区块链技术奠定了基础。在可以预见的未来，随着区块链技术的广泛运用，新的商业模式会大量涌现，为创业创新创造新的机遇。

四是为社会管理和治理水平的提升提供技术手段。随着区块链技术在公共管理、社会保障、知识产权管理和保护、土地所有权管理等领域的应用不断成熟和深入，将有效提升公众参与度，降低社会运营成本，提高社会管理的质量和效率，对社会管理和治理水平的提升具有重要的促进作用。例如，蚂蚁金服将区块链运用于公益捐款，为全社会提升公益活动的透明度和信任度树立了榜样，也为区块链技术用于提升社会管理和治理水平提供了实践参考。

第 4 章
智能变电站物联网工程技术与应用

智能化变电站基本概念、智能化变电站的物联系统结构、智能变电站实现综合智能化通信模型是本节介绍的主要内容。

4.1 智能变电站物联网工程技术基本原理

智能化变电站基本概念、智能化变电站的物联系统结构、智能变电站保护控制系统物联集成方法、实时仿真数据的保护控制系统测试平台、智能变电站信息流的确定性特征及智能变电站物联网技术应用案例分析是本章重点介绍的主要内容。

4.1.1 智能化变电站概述

1. 智能化变电站基本概念

智能化变电站是数字化变电站的升级和发展，在数字化变电站的基础上，结合智能电网的需求，对变电站自动化技术进行充实以实现变电站智能化功能。智能化变电站是智能电网运行与控制的关键。作为衔接智能电网发电、输电、变电、配电、用电和调度六大环节的关键，智能化变电站是智能电网中变换电压、接受和分配电能、控制电力流向和调整电压的重要电力设施，是智能电网“电力流、信息流、业务流”三流汇集的焦点，对建设坚强智能电网具有极为重要的意义。

除了变压器、开关设备、输配电线路及其配套设备之外，智能化变电站在硬件上的两个重要特征是大量新型柔性交流输电技术及装备的应用，以及风力发电、太阳能发电等间歇性分布式清洁电源的接入。这两个变化在提高变电站功能的同时增加了其复杂程度。智能化变电站自动化系统应当增加对柔性交流输电设备和分布式电源接口的智能化管理和控制功能。

根据国家电网公司《智能变电站技术导则》，智能化变电站是采用先进的传感器、信息、通信、控制、智能等技术，以一次设备参量数字化和标准化、规范化信息平台为基础，实现变电站实时全景监测、自动运行控制、与站外系统协同互动等功能，达到提高变电可靠性、优化资产利用率、减少人工干预、支撑电网安全运行，可再生能源“即插即退”等目标的变电站。其内涵为可靠、经济、兼容、自主、互动、协同，并具有一次设备智能化、信息交换标准化、系统高度集成化、运行控制自动化、保护控制协同化、分析决策在线化等技术特征。

2. 智能化变电站的功能特征

智能化变电站的设计和建设，必须在智能电网的背景下进行，要满足我国智能电网建设和发展的要求，体现我国智能电网信息化、数字化、自动化、互动化的特征。智能化变电站应当具有以下功能特征。

1）紧密联结全网

从智能化变电站在智能电网体系结构中的位置和作用看，智能化变电站的建设，要有利于加强全网范围各个环节间联系的紧密性，有利于体现智能电网的统一性，有利于互联电网对运行事故进行预防和紧急控制，实现在不同层次上的统一协调控制，成为形成统一坚强智能电网的关键和纽带。智能化变电站的“全网”意识更强，作为电网的一个重要环节和部分，其在电网整体中的功能和作用更加明显和突出。

2）支撑智能电网

从智能化变电站的自动化、智能化技术上看，智能化变电站的设计和运行水平，应与智能电网保持一致，满足智能电网安全、可靠、经济、高效、清洁、环保、透明、开放等运行性能的要求。在硬件装置上实现更高程度的集成和优化，软件功能实现更合理的区别和配合。应用FACTS技术，对系统电压和无功功率、电流和潮流分布进行有效控制。

3）满足特高压输电网架的要求

特高压输电线路将构成我国智能电网的骨干输电网架，必须面对大容量、高电压带来的一系列技术问题。特高压变电站应能可靠地应对和解决在设备绝缘、断路开关等方面的问题，支持特高压输电网架的形成和有效发挥作用。

4）允许分布式电源的接入

在未来的智能电网中，一个重要的特征是大量的风能、太阳能等间歇性分布式电源的接入。智能化变电站是分布式电源并网的入口，从技术到管理，从硬件到软件都必须充分考虑并满足分布式电源并网的需求。大量分布式电源接入，形成微网与配电网并网运行模式。这使得配电网从单一的由大型注入点单向供电的模式，向大量使用受端分布式发电设备的多源多向模块化模式转变。与常规变电站相比，智能化变电站从继电保护到运行管理都应做出调整和改变，以满足更高水平的安全稳定运行需要。

5）远程可视化

智能化变电站的状态监测与操作运行均可利用多媒体技术实现远程可视化与自动化，以实现变电站真正的无人值班，并提高变电站的安全运行水平。

6）装备与设施标准化设计，模块化安装

智能化变电站的一、二次设备进行高度的整合与集成，所有的装备具有统一的接口。建造新的智能化变电站时，所有集成化装备的一、二次功能，在出厂前完成模块化调试，运抵安装现场后只需进行联网、接线，无须大规模现场调试。一、二次设备集成后标准化设计，模块化安装，对变电站的建造和设备的安装环节而言是根本性的变革，可以保证设备的质量和可靠性，大量节省现场施工、调试工作量，使得任何一个同样电压等级

的变电站的建造变成简单的模块化设备的联网、连接，因而可以实现变电站的“可复制性”，大大简化变电站建造的过程，提高了变电站的标准化程度和可靠性。

3. 智能化变电站与数字化变电站的区别

智能化变电站与数字化变电站有密不可分的联系。数字化变电站是智能化变电站的前提和基础，是智能化变电站的初级阶段，智能化变电站是数字化变电站的发展和升级。智能化变电站拥有数字化变电站的所有自动化功能和技术特征。下面介绍智能化变电站与数字化变电站的差别。

（1）数字化变电站主要从满足变电站自身的需求出发，实现站内一、二次设备的数字化通信和控制，建立全站统一的数据通信平台，侧重于在统一通信平台的基础上提高变电站内设备与系统间的互操作性。智能化变电站则从满足智能电网运行要求出发，比数字化变电站更加注重变电站之间、变电站与调度中心之间信息的统一与功能的层次化。需要建立全网统一的标准化信息平台，作为该平台的重要节点，提高其硬件与软件的标准化程度，以在全网范围内提高系统的整体运行水平为目标。

（2）数字化变电站已经具有了一定程度的设备集成和功能优化的概念，要求站内应用的所有智能电子装置（IED）满足统一的标准，拥有统一的接口，以实现互操作性。IED 分布安装于站内，其功能的整合以统一标准为纽带，利用网络通信实现。数字化变电站在以太网通信的基础上，模糊了一、二次设备的界限，实现了一、二次设备的初步融合。智能化变电站设备集成化程度更高，可以实现一、二次设备的一体化、智能化整合和集成。

（3）智能电网拥有更大量新型柔性交流输电技术及装备的应用，以及风力发电、太阳能发电等间歇性分布式清洁电源的接入，需要满足间歇性电源“即插即用”的技术要求。

4.1.2 智能化变电站的物联系统结构

1. 智能化变电站的集成化

集成化总是变电站自动化技术的发展方向和趋势。从常规变电站到数字化变电站，再到智能化变电站的发展过程，是变电站内的设备和系统集成化程度越来越高的过程。

数字化变电站用微机处理和光纤数字通信优化变电站层和间隔层的功能配置；控制、保护和运行支持系统通过局域网彼此互相连接，共享数据信息；简化单个系统的结构，同时保持各个系统的相对独立性。在此基础上更进一步，数字化变电站内的自动化系统可以进行集成，分为三个层次，即过程层集成、间隔层集成和变电站层集成。

变电站中每个控制和监视设备都需要从过程输入数据，然后输出控制命令到过程。

过程接口将完成被监视和控制的开关场设备和变电站自动化系统的连接。数字化变电站中，集成化的一个体现是过程接口被直接集成到了过程中，也就是开关设备中。包括用于测量电流和电压及气体密度的电子传感器、断路器和隔离开关的位置指示器和传动装置都安装在一个屏蔽的小盒子里，集成到一次设备中，即所谓的智能化一次设备。

数字化变电站集成化的另一个体现是间隔层的集成化，构筑一个通用的硬件和软件平台，即统一的多功能数字装置（UMD），将间隔内的控制、保护、测量等功能集成在这个通用的平台上，通过通用的硬件和软件采集各功能需要的数据和状态量，实现数据共享。原来的控制、保护等功能不再需要专用的硬件装置和专用的输入、输出通道，而是由合理的软件设计来实现。

间隔统一多功能装置集成了较多的功能，在设计时应按各功能响应时间要求进行分类，并确定优先级别。显然，继电保护、紧急控制等与保护相关的功能，需要响应速度快，处于最优先级别，决不能被非保护功能闭锁。测量变量的计算、故障录波、事件记录，虽然与保护过程同时发生，但可以延时或闭锁。监视、自我诊断、控制功能在正常和出现故障时都不允许闭锁保护功能。变电站层的集成是自动化需要在站级处理的各个功能通过站内通信网络组合在统一的系统中。变电站层和过程层的集成功能划分原则是：凡是间隔层能够执行的功能不应由变电站层完成。

数字化变电站在过程层、间隔层和变电站层三个层次应用的集成化技术，减少了变电站内组件的数量，提高了元件质量，增强自动化功能的协调水平，简化了站内接线，提高了运行与控制的可靠性。

2. 智能化变电站综合集成化智能装置及其功能结构

智能化变电站在运用集成技术之后，全站范围内的数据交互通过光纤以太网实现。变电站层与间隔层之间现场距离长，数据交换量大，实时性要求高，需要与外部电网互联互通。间隔层与过程层之间数据交换、不同间隔之间的数据交换，都是局限于变电站内，数据交换多是点对点，瞬时性的。若所有的间隔层设备与过程层设备之间的联系完全依赖于光纤网络，一旦光纤网络出现故障或受到干扰，间隔层与过程层之间的联系将非常不可靠，全站的所有自动化功能都可能因此受到影响而不能正常工作。

为了进一步减少变电站内元件（节点）数量，降低间隔层自动化功能对光纤网络的依赖性，将间隔层与过程层之间的联系从对光纤网络的依赖中解放，同时为了进一步简化变电站的结构，提出了一种将变电站内过程层与间隔层一、二次设备进行一体化、智能化综合集成的构想，并以此提出智能化变电站的架构体系。通过分析，认为该综合集成构想以及智能化变电站架构体系的实现，具有先进性，能够满足未来智能电网发展的要求。

变电站一、二次设备的一体化、智能化集成，指除了过程层的测量与控制执行等功能外，将目前变电站结构中间隔层的保护、控制、监视等功能也综合集成

到过程高压设备现场，由就地安装的综合集成化智能装置（Compositive Integrated Intelligent Device，CIID）一方面直接作用于一次设备，另一方面通过标准化的接口并入全站唯一的光纤总线，进行各 CIID 之间，及 CIID 与变电站层的功能之间的信息共享与优化协作。

智能化现场测控装置（模块）接受全网统一的同步时钟信号，实现对一次设备的模拟量、开关量与状态量的同步采集，按照全网统一的标准（如 IEC 61850）处理，为测得数据统一打上同步时间标签；也接受运行控制模块、继电保护模块等模块的控制命令，实现对一次设备操作的控制与执行。继电保护模块在所有的模块中享有最高优先级，可以直接从智能化现场测控装置获取所需信息，以最短的时间做出反应，并且在任何情况下其保护功能都不被闭锁，同时可通过标准化接口与其他一次设备的 CIID 的保护功能交互、配合。统一数据存储模块是 CIID 的本地信息数据库，测量得到的所有标准化模拟量、开关量与状态量信息都在此存储，提供给其他功能模块，并可按照时间轴、属性轴等对信息数据进行初步归类与管理。同时，可以记录并存储各个层次、各个模块的所有面向对应一次设备进行操控的命令，以备查询。运行控制模块从统一数据存储模块获取本地设备的状态信息，也可接受来自变电站层的指令或利用其他 CIID 的信息综合判断，实现对一次设备的自动控制、紧急控制、故障录波与事件记录、非正常状态与故障状态的恢复等功能。诊断监视模块实现对设备的状态监视和诊断。软件管理模块可以对所有功能模块软件进行管理、更改和升级。CIID 的硬件配置要求满足所有自动化功能所需，并考虑冗余度。今后对 CIID 功能的增加或提升，只需通过软件升级即可实现。

CIID 内各个模块之间通过总线结构实现交互。对外经由通信模块，通过标准化的接口与变电站层和其他的 CIID 通信交互。通信管理模块在综合集成化智能装置中处于“咽喉”的地位。装置内的各个功能模块，需要与其他 CIID 的功能模块进行交互和协作，也需要向变电站层报告信息，并接受变电站层的指令。通信管理模块需要对所有功能模块的所有信息进行有效的组织和管理，以保证信息交互的可靠与高效。流经标准化接口的信息包括由变电站层向综合集成化智能装置的查询命令、控制指令、调用指令等，包括由 CIID 向变电站层的实时运行信息（如模拟量、状态量、开关量等），还有故障录波、事件报告等，以及各 CIID 间的互锁和调用信息。智能化测控装置是变电站基础信息的根本来源，通过综合集成化智能装置的标准化接口接入站内光纤以太网，可以构成全站乃至全网范围的标准化基础信息平台。

需要说明的是，上述功能模块不是将各自动化系统装置在安装位置上进行简单的捆绑和叠加，而是在将所有自动化功能进行全面综合考虑后的升级优化。优化的目标是：功能齐全、硬件冗余、实现功能的流程最简化和最有效化。

考虑到今后新的技术与装备出现及应用的可能性，CIID 仍然保留标准化的功能扩展接口和装备配置空间。智能化测控装置中包含本地人机界面，只对测量信息进行显示，其他的设备状态信息都通过网络在变电站层集中显示。为保证功能的独立性，减少功能互相之间的影响，提高可靠性，这些模块的功能都由各自的 CPU 处理。

4.1.3　智能变电站实现综合智能化通信模型

智能电网是将现代信息系统融入传统能源网络构成的新电网系统，使电网具有更好的可控性和可观性，解决传统电力系统能源利用率低、互动性差、安全稳定分析困难等问题，从而实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和使用安全的目标。智能电网作为未来电网的发展方向，渗透到发电、输电、变电、配电、用电、调度、通信等各个环节。在这些环节中，智能变电站无疑是最核心的一环。

智能变电站是由智能化一次设备和网络化二次设备分层构建，是实现变电站内智能电气设备间信息共享和互操作的现代化变电站。智能化一次设备主要包括智能变压器、智能高压开关设备、电子式互感器等。例如，智能变压器与控制系统依靠通信光纤相连，可及时掌握变压器状态参数和运行数据。

在实现一次设备通信的基础上，网络化二次设备分层构建还需要一个具有广泛适用性、功能强大的通信协议，使各种设备能通过协议实现互操作，才能让变电站的智能化变为可能。这个通信协议就是 IEC 61850。IEC 61850 标准实现了智能变电站的工程运作标准化，使得智能变电站的工程实施变得规范、统一和透明。通过对设备的一系列规范化，使其形成一个规范的输出，实现系统的无缝连接。智能变电站实现综合智能化通信模型如图 4-1 所示。

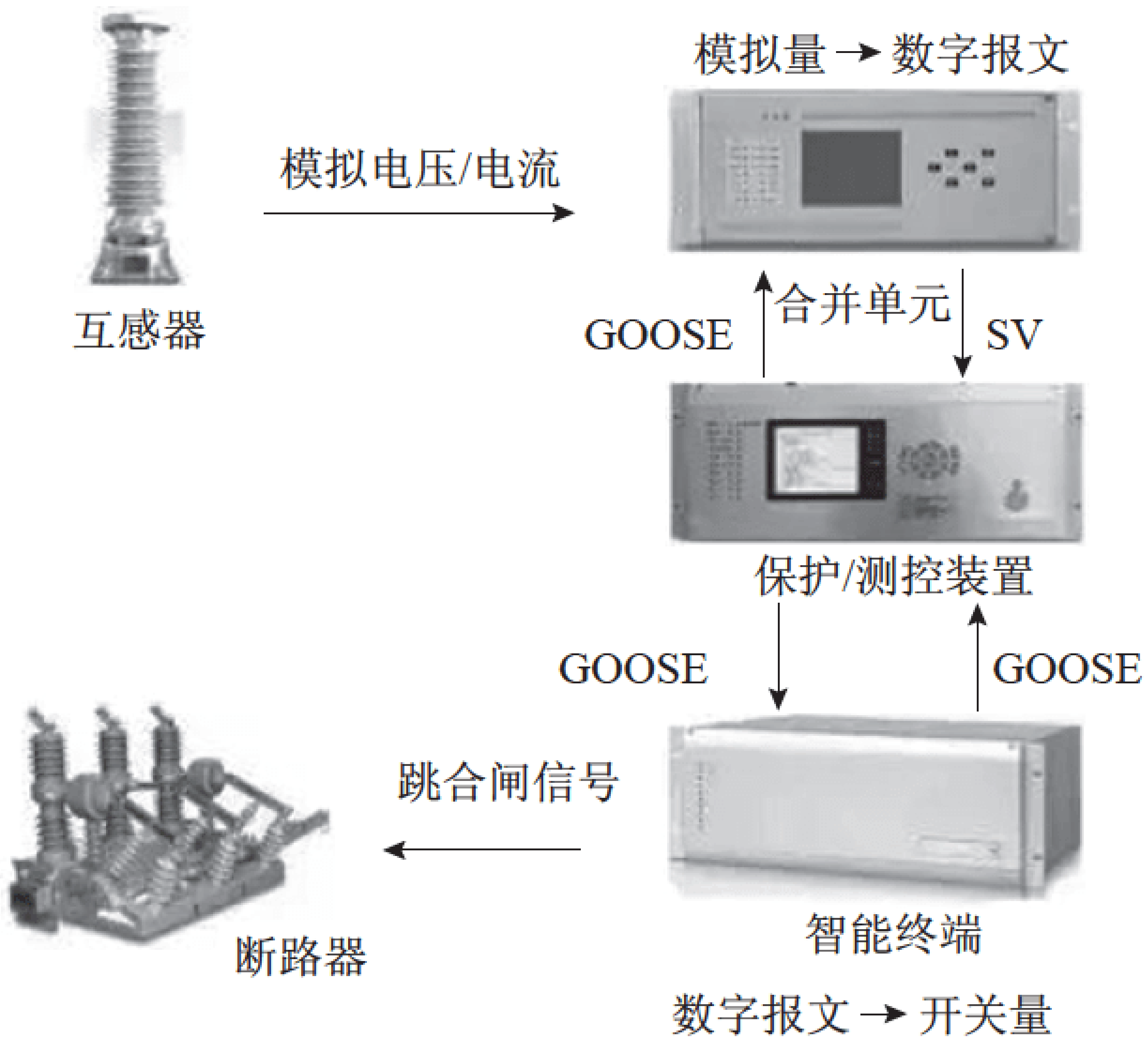


图 4-1　智能变电站实现综合智能化信息模型

安全和可靠永远是电网系统不可逾越的原则，而众多不同厂家的设备连接到一起，设备之间互操作的可靠性问题也是一个难关。为了保证整个智能变电站系统的可靠运行及响应速度，必须依靠变电站验收时各种试验及系统联调。由于智能变电站的设备分为过程层、间隔层、站控层，因此智能变电站的验收应根据智能变电站的特殊性，在验收

时制定相应的验收计划。总的来说，智能变电站的验收项目主要有过程层设备验收、站控层设备验收及主要系统功能验收等项目。

作为智能变电站调试、检测最重要的工具之一，智能变电站光数字测试仪，可用于保护测控装置、智能终端、合并单元、互感器等设备的快捷测试。光数字测试仪集多种功能于一体，轻松完成间隔层、过程层的保护测控装置、合并单元、互感器和光功率测试，帮助智能变电站工作人员验证各种设备之间互操作的可靠性。

4.2 智能变电站实施物联智能化方法

智能变电站保护控制系统物联集成方法、实时仿真数据的保护控制系统测试平台、智能变电站信息网络安全防护技术是本节介绍的主要内容。

4.2.1 智能变电站保护控制系统物联集成方法

1. 高集成度保护测控原理

高集成度保护并不只是简单地在一个装置中集成多个传统保护装置的功能，如线路三段式过电流保护、距离保护、母线差动保护、变压器差动保护等。由于它集成了全站各个设备的信息，从原理上讲，将能大大提高保护动作的选择性、灵敏性和可靠性，并且能够克服过渡电阻等因素的影响。如根据相邻线路的故障信息，实现本线路保护的可靠闭锁或者快速动作；根据相邻设备（如变压器的信息），判断线路的故障情况，实现保护动作的绝对可靠性，防止保护误动；根据线路对端断路器的动作信息，实现本端断路器加速动作跳开故障。

高集成度保护控制系统是以变电站作为完整的保护对象，统一考虑全站的保护控制功能，在逻辑上采用两层配置方案，以差动保护等为主的单元保护模块作为间隔层保护；以基于拓扑理论的网络保护模块作为全站系统级保护。

1）实现方案

高集成度保护测控技术借鉴了早期集成一体化保护、测控装置设计理念，遵循IEC 61850标准，基于过程总线和强大的软硬件平台，将目前变电站内多台间隔层IED集中在一台IED上完成。例如，采用一台装置来实现原来需要10台保护测控装置实现的功能，如图4-2所示。每个现有IED被抽象成为一个逻辑保护、测控单元，简称逻辑设备（LD），每个LD保持功能上的相对独立性并通过统一的通信接口与其他设备进行交互。它符合IEC 61850的思想。

IEC 61850标准主要是以通信的方式体现在硬件上。基于智能变电站的集成一体化

保护同样依赖于通信。过程层通过合并单元将采集到的信号以通信方式传递给间隔层保护装置，智能执行单元以通信方式接收保护装置发出的命令。保护装置作为间隔层设备主要实现控制和保护功能。变电站层则实现变电站就地操作、外部数据交互接口和通用功能服务等。

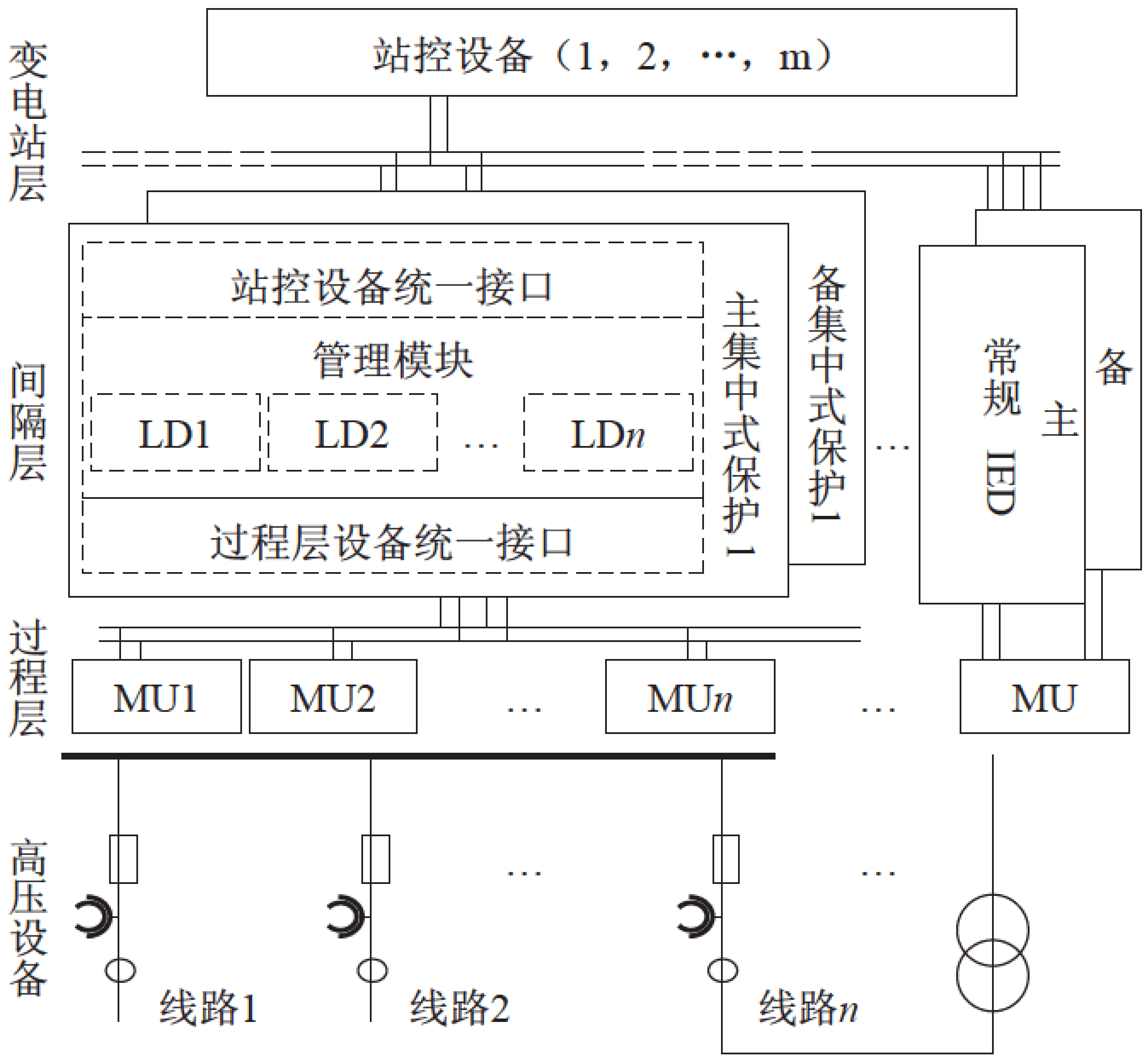


图 4-2　新型集成一体化 IED 架构及应用

2）保护对象建模

由于 IEC 61850 采用面向对象技术在 IED 中建立分层的对象模型，集成一体化保护装置实际上包含了站内所有和保护功能相关的逻辑设备（LD）。LD 由多个基本的逻辑节点（LN）组成，LN 则具有多个数据对象（DO）及其对象属性集（DA）。LD 和 LN 只是分别提供服务和对数据的操作，规定保护功能所在 LN 的对外表达和接口，对保护算法内容并不做描述。各 LN 相应的保护功能仍然可以按照传统微机保护的方式来实现，只不过需要和 LN 的服务方法对应，建立起相应的调用关系。以线路保护逻辑设备建模为例，一个标准的 12 路输入的合并单元可以被抽象为一个逻辑设备。每个合并单元采集三相保护用电流，三相测量用电流、零序电流、零序电压、母线电压、线路抽取电压共 12 路信号。

3）保护功能的实现

集成一体化保护基于 IEC 61850 标准协议，通过以太网通信实现保护功能。合并单元采集电子式互感器的数字信号，通过网络发送给集成一体化保护装置。智能执行单元同样通过网络将开入信号传送给集成一体化保护装置。保护装置接收到合并单元的数字采样信号和智能执行单元的开入信号后，在调度定时中断时间片到来时，采用网络传来的最新模拟信号，依次调用各保护算法进行计算，在完成所有计算、判别后更新相应对象属性，并将出口信号组织成相应的报文，如快速跳闸的指令、告警报文等，启动报文

发送任务，通过网络给智能执行单元发送出口动作命令，从而实现保护功能。

2. 高集成度保护测控硬件方案

高集成度保护装置需要对全站信息综合处理完成继电保护功能，因此高集成度保护装置需要强大的运算能力、可靠的硬件结构等。过程层采样值传输、跳闸动作等对时限严格要求，因此变电站通信网络必须具备极高的实时性、可靠性等。然而高集成度保护装置采集了更多的电流、电压信息和断路器状态，对变电站网络的带宽和实时性要求更高。

1）设计原则

为了提高装置可靠性，采取的具体措施包括装置硬件设计选用集成度高的双核处理器、高性能千兆以太网、具有 ECC 的内存条，减少元器件的选用，确保高性能的同时，可靠性也高，整体故障率低，寿命长。装置所用板卡强弱电彻底隔离，开关量和模拟量信号也完全分离，再通过合理布局强弱电模块，加上相应的滤波、接地以及屏蔽等措施，装置整体的抗干扰性能强，电磁兼容性能高。

高集成度保护硬件按军工级完成设计，包括装置的 CPU 插件、NPI 插件、通信插件和装置背板。所有元器件为军工级元器件，元器件有如下选择原则。

（1）元器件的技术性能应满足产品要求。环境适应性应符合军品要求，温度范围为 −55℃～ 125℃。

（2）军工级元器件如果买不到，用工业级器件代替。

（3）对于二极管、三极管、MOSFET 等器件必须考虑降额使用。降额幅度不小于 50%。

（4）对于工业级的元器件，用拷机的方法进行温度应力和电应力的试验，对元器件进行老化筛选。

2）系统结构

组成高集成度测控的插件有 CPU 插件、过程层接口插件、稳压电源插件、站控层通信插件，各个插件的安装位置如图 4-3 所示。

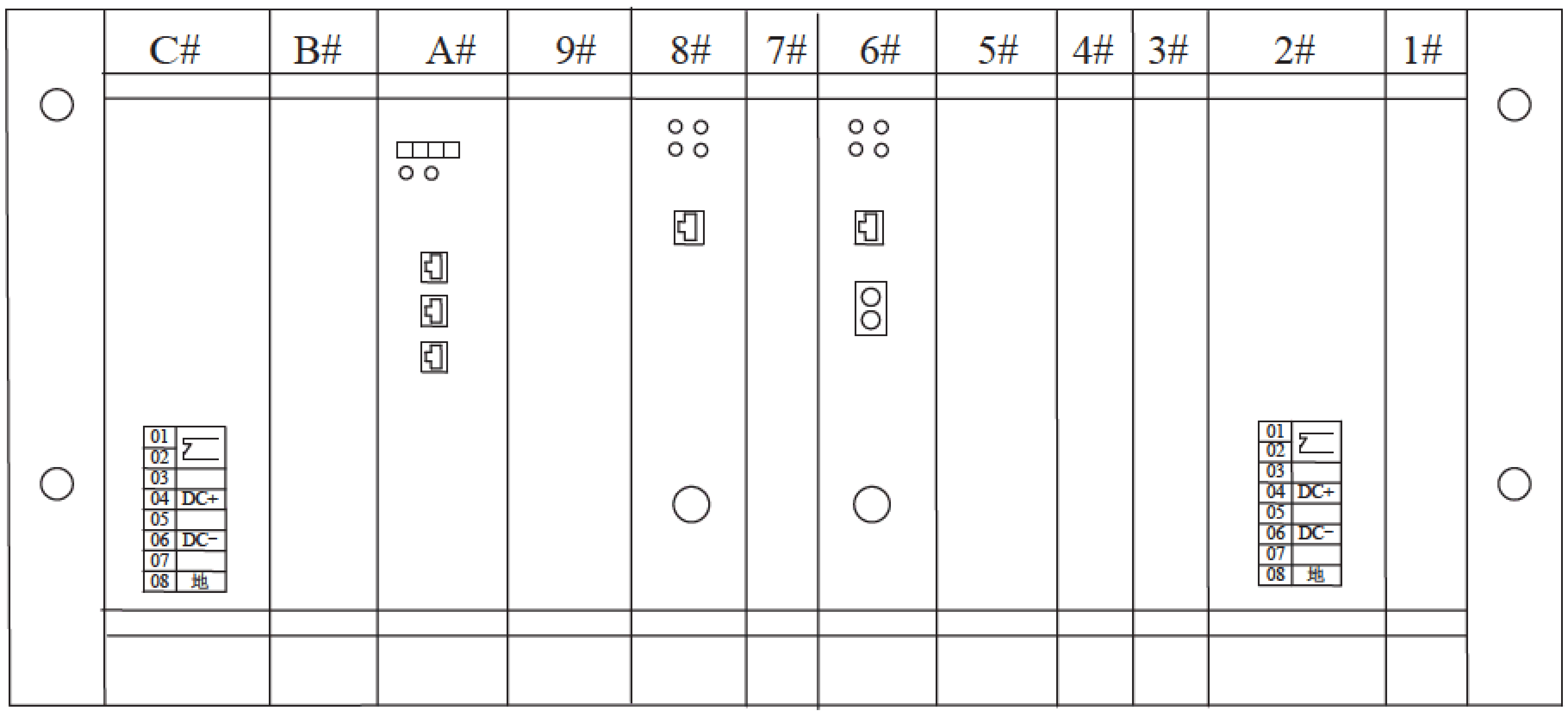


图 4-3　高集成度测控机箱插件安装位置示意图

其中：6# 过程层接口插件、8#CPU 插件、A# 站控层通信插件、2# 和 C# 均为稳压电源插件，其余为备用插件。

3）CPU 设计方案

CPU 采用 P2020 处理器，该处理器具有极高性能功耗比，可用于多种应用，尤其适用于这些有严格散热限制的应用。凭借其 -40 ～ 125℃的有效结点温度范围，这些设备可用于注重功耗的军事、工业应用以及这些缺乏保护的户外环境。P2 设备凭借其低功耗设计以及单线程高性能，非常适合控制层面的诸多应用。P2020 处理器的典型参数如下：双核高性能 Power Architecture e500 核心，支持双精度浮点，每核心带 32KB 一级指令高速缓存以及 32KB 一级数据缓存，支持 800MHz ～ 1.2GHz 时钟频率。具有 ECC 功能的 512KB 二级高速缓存。还可配置为 SRAM 以及缓冲存储器。3 个 10/100/1000Mb/s 增强型三速以太网控制器（eTSEC）。支持 ECC 的 64 位 DDR2/DDR3SDRAM 控制器。可编程中断控制器（PIC），符合 OpenPIC 标准。增强型本地总线控制器（eLBC）。采用千兆光纤接口实现过程层信息的接入。

4）电源插件设计方案

系统供电采用两套独立电源插件分别对不同负荷插件进行供电，以保证系统在正常环境下每套电源的负载条件比较接近（小于额定输出 50%）。在任何一组电源失效的情况下，另一组电源可以无缝接入另外一组负荷。

电源模块上设有测温传感器，可以对模块内部的工作温度进行检测。测量结果经内部 I2C 总线接口输出至背板总线（SDA、SCL、AD0、AD1）。此外插件内部还有输出电压异常侦测电路，可以对外提供异常输出告警信号（PG 端口）和告警接点。

3. 高集成度保护测控软件方案

高集成度保护平台的主要功能为完成对过程层 GOOSE、SMV 数据采集并发给保护 CPU 进行保护程序处理；与站控层设备进行通信并实现 MMS 报文的解析和处理；接收过程层对时命令实现装置对时。

为了满足高集成度保护的功能，同时兼顾程序的运行速度，智能组件的主控制器软件系统要实现的任务有 3 个。

（1）实现对采集到的数据进行合并和运算处理。

（2）对接收到的上层设备的数据帧进行正确的解析。

（3）按解析出的信息完成正确的动作。

研究提出了高集成度保护软件平台基于多模块独立编译、自动加载技术，采用了自描述技术实现的嵌入式实时数据库管理系统，并采用了双层驱动模型设计，实现了设备驱动程序的复用。以上技术的应用很好地解决了高集成度保护平台研发的难点。

4. 高集成度保护检修方案

高集成度保护具有一系列技术优点的同时，对现有的运行管理制度提出了新的要求，

其中一个突出的挑战是检修及隔离。为了解决高集成度保护故障或者检修时影响范围较大、停电时间加长的问题，提出以下 220kV 高集成度保护冗余配置方案。

1）整体方案

220kV 高集成度保护正常运行时采用 2 取 2 的方案，即过程层综合智能单元同时接收到两套保护的跳闸 GOOSE 后才能出口。

当一台保护装置出现故障或者检修时自动切换到 1 取 1 模式，即综合智能单元只接收一套保护装置的跳闸命令即可出口。

除保护跳闸以外的 GOOSE 信息，综合智能单元采用常规处理模式，接收任一保护装置的 GOOSE 后即可实现相应的操作。

2）正常运行时模式

四套装置同时运行，其中 A 网两套装置 A1、A2 同时接收采样值并同时发送跳闸命令到智能单元。B 网运行模式同 A 网。正常运行时网络结构图如图 4-4 所示。

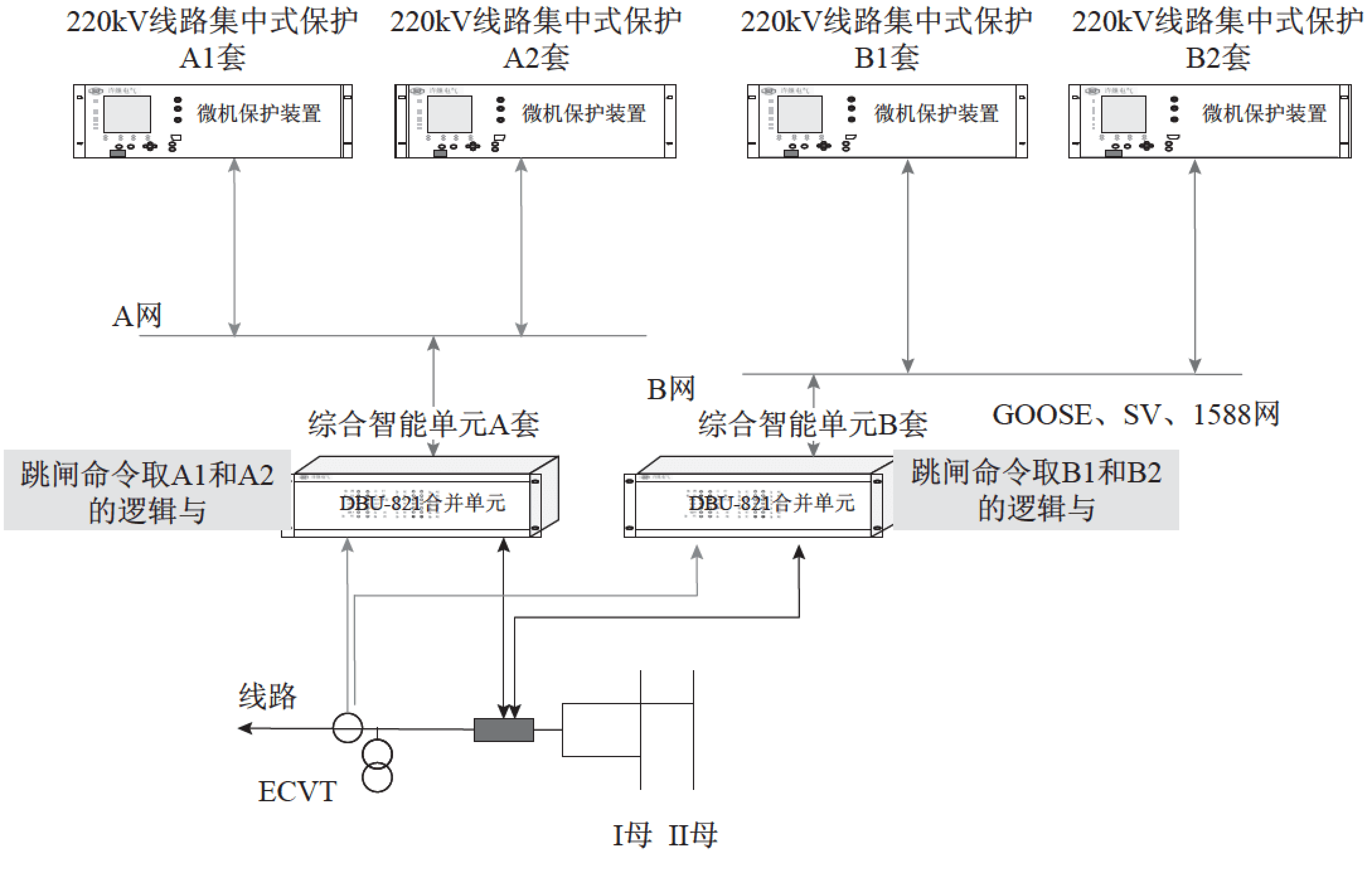


图 4-4 正常运行时网络结构图

此模式下 A（B）网的两套装置都跳闸命令分别驱动智能单元的不同出口，工程上将两个跳闸节点串联后接入操作回路，两个出口同时动作时才会真正跳闸出口。综合智能单元逻辑处理示意图如图 4-5 所示。

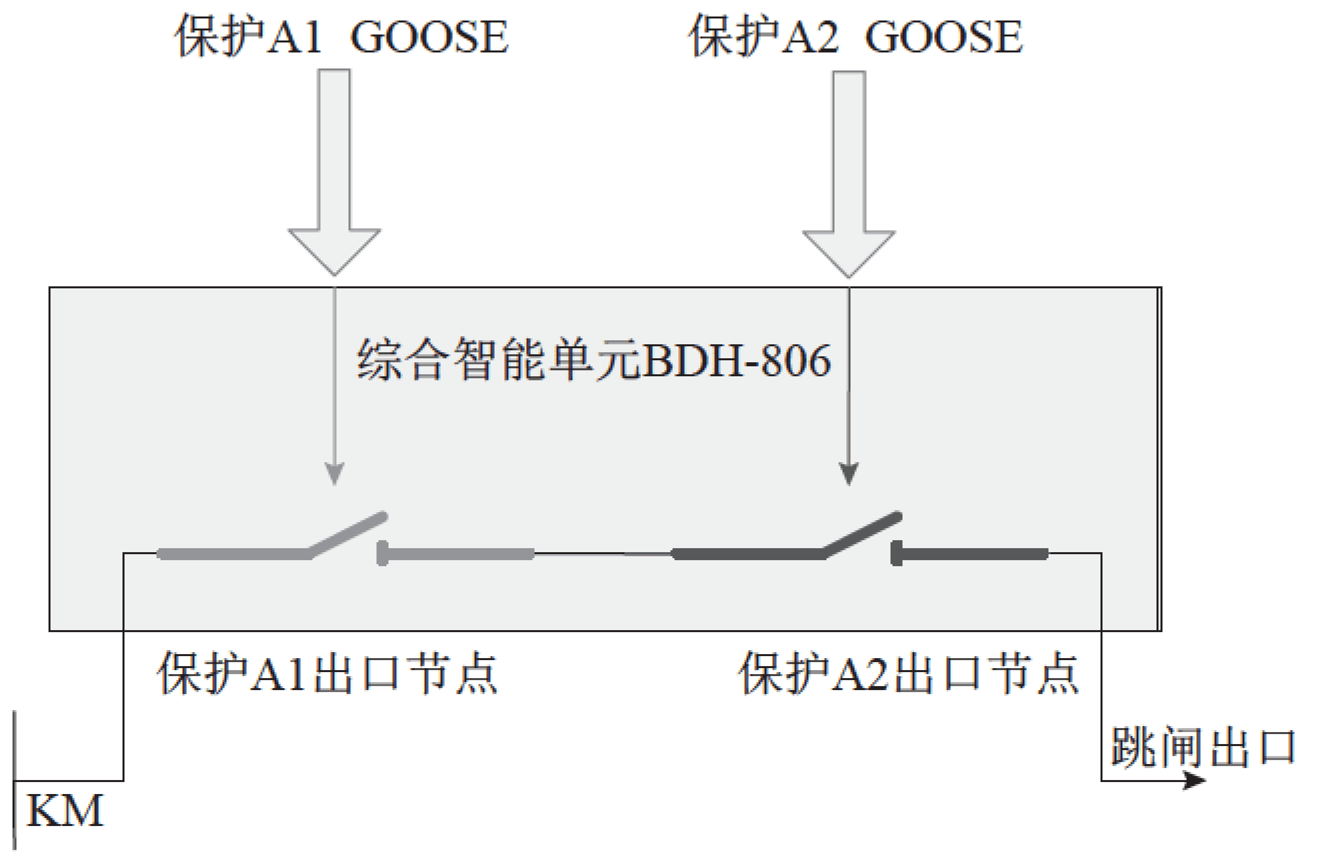


图 4-5　正常运行综合智能单元逻辑处理示意图

对于光纤通道的保护信息，此模式下 A（B）网的两套装置的保护启动信号在综合智能单元中做或逻辑后发送给对侧保护，保证对侧保护快速启动。综合智能单元逻辑处理示意图如图 4-6 所示。

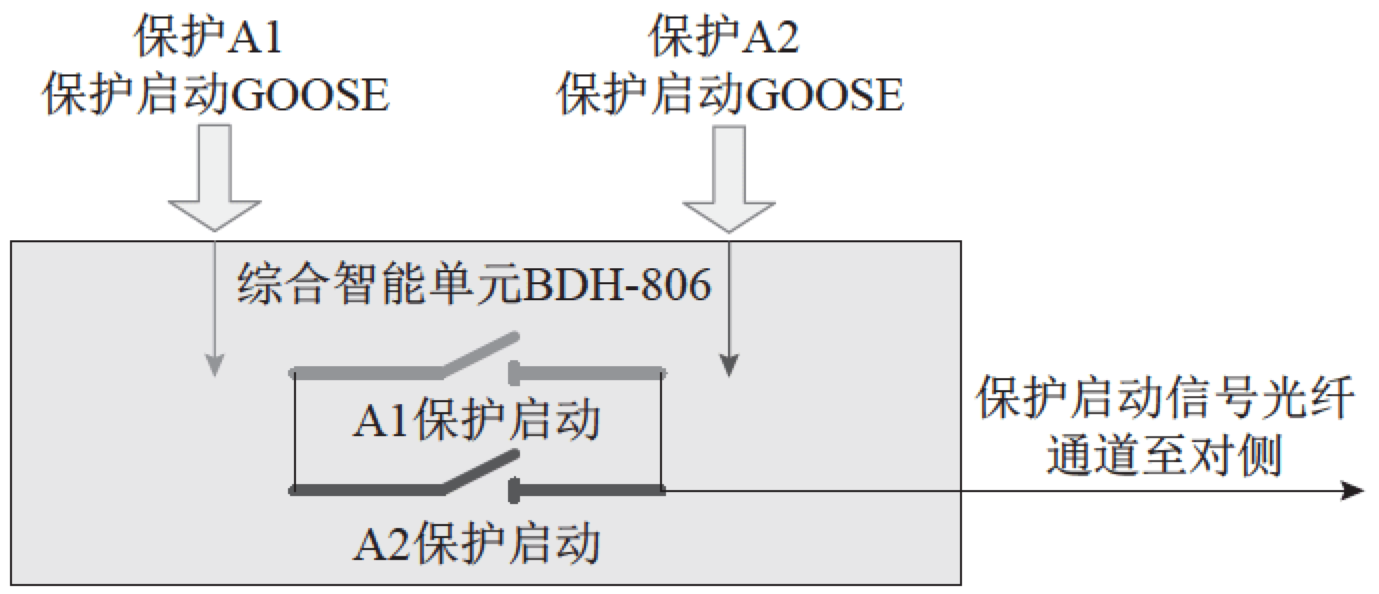


图 4-6　正常运行综合智能单元逻辑处理示意图

此模式下 A（B）网的两套装置的保护远跳信号在综合智能单元中做与逻辑后发送给对侧保护，提高保护远跳的可靠性。综合智能单元逻辑处理示意图如图 4-7 所示。

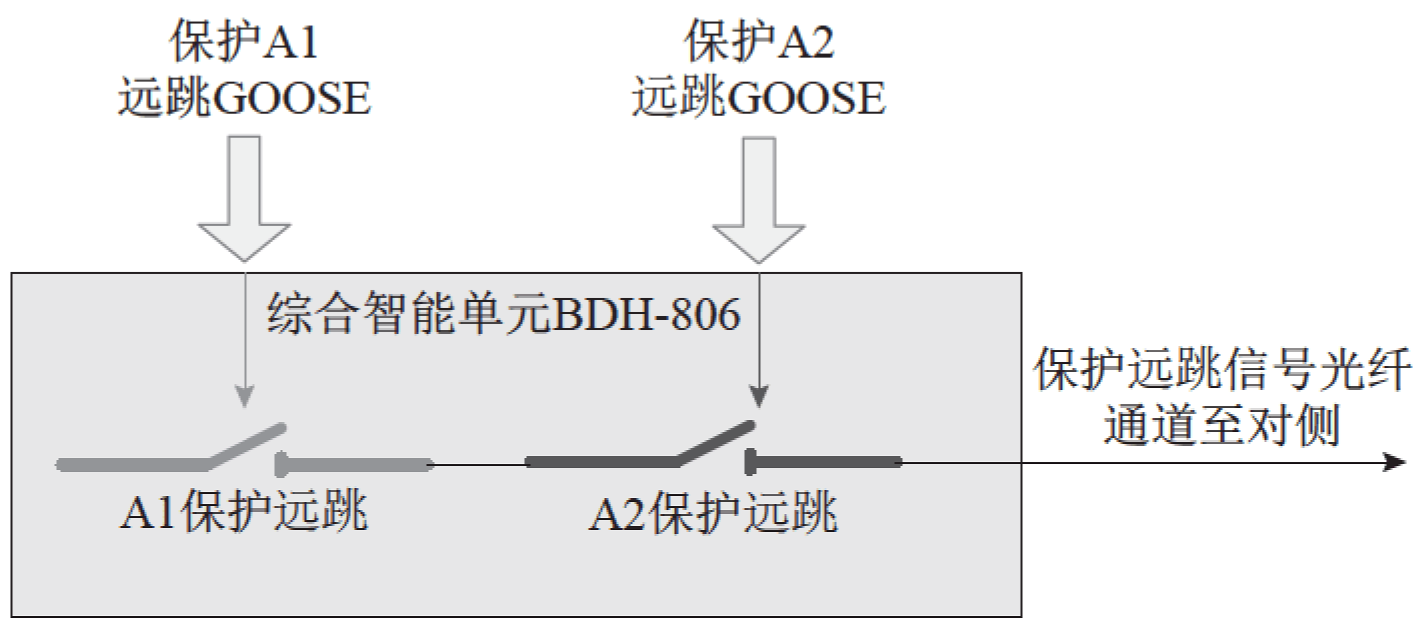


图 4-7　正常运行综合智能单元逻辑处理示意图

3）整装置停运检修时运行模式

当运行中的一套保护装置（如 B2）故障或者停运检修时，单网只有一台装置运行，此时智能单元只收到单台保护（B1）的跳闸命令即可出口。此种方案解决了保护装置检修时单套运行的问题。检修状态时网络结构图如图 4-8 所示。

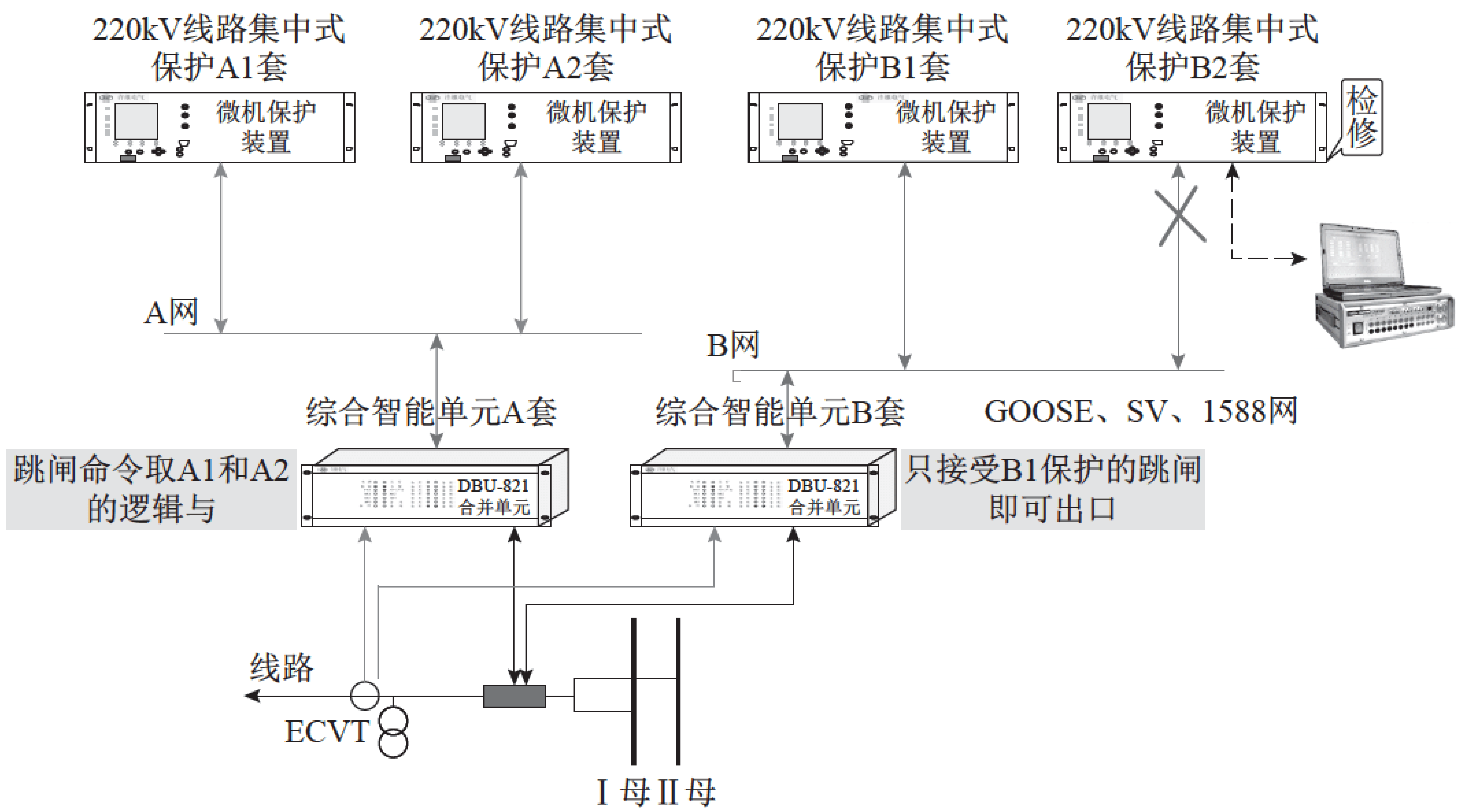


图 4-8 检修状态时网络结构图（以检修 B2 保护为例）

高集成度保护检修或故障时，综合智能单元根据 GOOSE 报文自动切换到单套保护运行模式，此种模式下综合智能单元接收单套保护即可实现出口，综合智能单元逻辑处理示意图如图 4-9 所示。

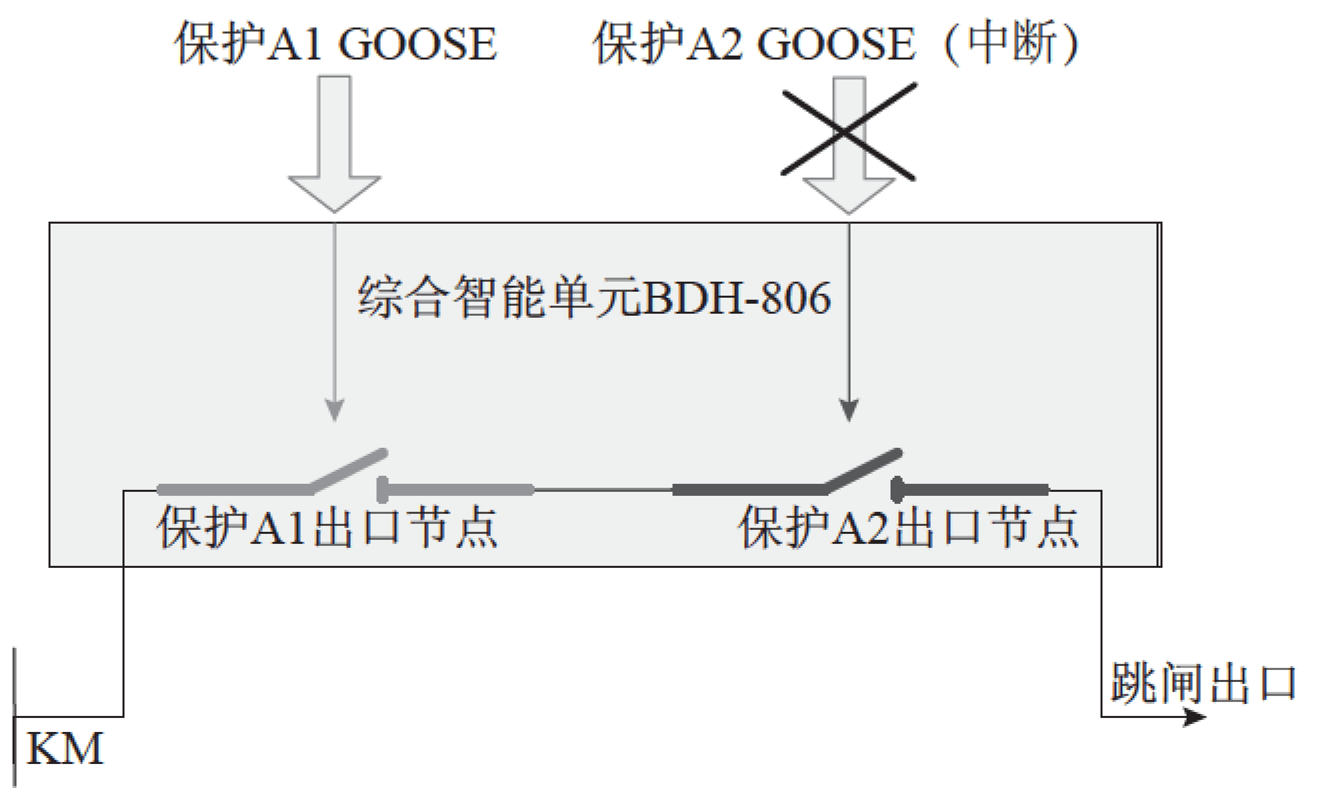


图 4-9 保护检修时综合智能单元逻辑处理示意图（以检修 A2 为例）

4）技术特点

正常运行时采用继电保护动作出口表决机制，提高了防拒动能力；单套装置运行时

也不降低系统的可靠性。既提高了整个系统的可靠性，又支持灵活运行及维护方式，完美地解决了高集成度保护检修难的问题。高集成度保护检修状态切换示意图如图 4-10 所示。

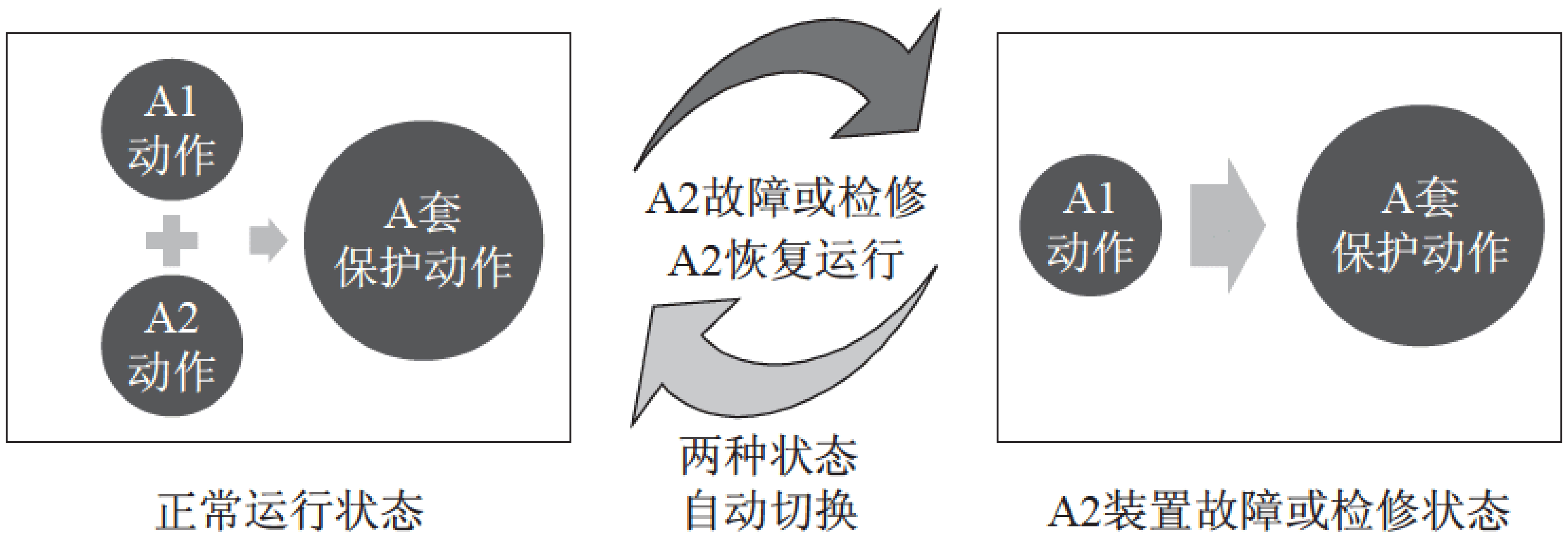


图 4-10　高集成度保护检修状态切换示意图

5. 高集成度测控冗余方案

这里采用了保护测控一体化配置，且装置均为双重化配置原则。此时测控功能也为双重化，监控系统接收到的数据存在测控采集到的一次设备的冗余信息以及装置自身的独立告警信息，需要对冗余的双数据进行处理，从而让运行维护人员更全面、可靠地掌握一次设备的运行状态。双测控制切换方案如图 4-11 所示。

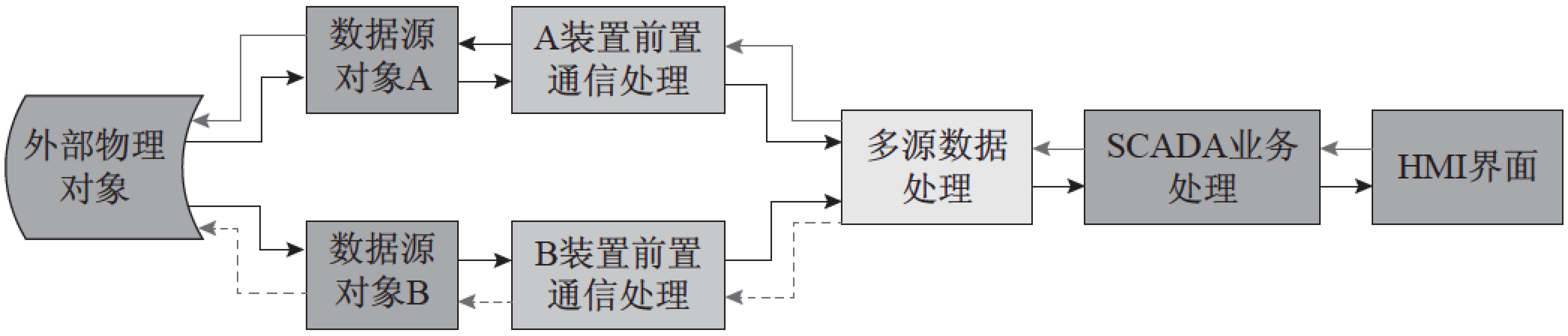


图 4-11　双测控切换方案

1）双测控切换逻辑

以装置为单位进行切换，当装置异常时进行数据源切换，包括以下两种情况：一是发生装置通信中断，检查发生故障的装置（故障条件可人工配置），切换为检修状态；二是当双套装置均处于异常状态时，保持原有数据源选择。

2）信号处理原则

设备位置信号：多源数据功能块根据当前选用装置的信号设置一次设备位置信号。一次测量数据：处理原则同上。设备控制对象：多源数据功能块将控制操作发送给当前选用装置。二次信号：对于装置本身的信号，如装置自检信号、保护动作信号等，不做冗余处理，与单装置时的处理方式完全相同。

3）配置方式

如果一个间隔下有两个类型为“测控”类型装置，可以使用工具在本间隔下自动生成一

个虚装置，该装置包含了一次设备的位置信号、传递量、控制信号以及设备本体信号等。

4.2.2 实时仿真数据的保护控制系统测试平台

1. 智能变电站一次系统元件建模

对于电力系统仿真和继电保护测试来说，元件模型的正确性和仿真系统的选择都非常重要。如果元件模型不正确，则无法反映实际系统的情况，甚至可能得到错误的结论；如果仿真系统的选择不合理，则无法全面地对继电保护进行测试，对实际使用也缺乏指导意义。下面分别对在继电保护测试中比较重要的几个元件模型的动静态特性和利用这些元件建立起来的试验系统的动态特性进行分析。

为满足电力系统仿真的要求，计算系统中包含了种类丰富的元件模型，如发电机、发电机的励磁调节器和调速器、PSS、电动机、变压器、输电线、断路器、电抗器、CT、PT、CVT、负荷和各种无源元件等，还包括饱和电抗器等非线性元件，可以广泛应用于各种规模电力系统的仿真研究。下面主要分析计算系统中与继电保护测试关系比较密切的发电机、线路、断路器、故障等模型的特性。

1）发电机模型

发电机模型采用经典的七阶派克方程。模型由定子绕组、励磁绕组、转子绕组及各阻尼绕组等相互耦合的绕组组成，可以灵活模拟凸极同步电机、隐极同步电机在各种情况下的动态行为。为方便发电机方程的求解，采用派克变换将三相耦合的绕组进行解耦，得到 d、q 轴的等值电路进行求解。

发电机模型可以仿真电机的饱和特性。对同步发电机而言，其磁路的饱和特性对动态特性有较大影响。在仿真软件中采用伏安曲线来表示磁路的饱和特性，通过在发电机的参数表中输入一组电压电流数据的方式表示发电机的饱和特性。除同步发电机外，变压器、电动机等元件都可以通过类似的方式模拟其饱和特性。

发电机模型可以模拟同步发电机的励磁调节器、调速系统和 PSS，包括 IEEE 定义的三大类励磁系统（直流励磁、交流励磁和快速励磁）。调速系统由发电机的原动机和调速器两部分组成，包括水轮机调速系统和汽轮机调速系统两大类。除了典型励磁和调速系统之外，用户还可以通过控制元件建立各种自定义的控制系统，以准确地仿真各种励磁、调速和 PSS 系统。

2）线路模型

对继电保护测试而言，线路模型的准确性非常关键，对继电保护设备测试的结果有直接的影响。传输线模型分为分布参数模型和集中参数模型两种。一般认为，模拟短线路时，两者结果比较接近，随着线路长度的增加，使用分布参数线路模型的仿真结果更加精确。

为进一步讨论线路模型的准确性，先对线路的暂态过程进行分析，然后验证线路模

型特性是否与暂态理论分析的结果一致。

在实际系统中，具有分布参数特征的线路上发生短路时，短路电流中要出现无穷多频率的自由分量。

在如图 4-12 所示的长线路短路情况下，计算自由分量频率的关系式为：

$$\frac{1}{\left(1+\frac{X_c X_m}{X_0^2}\right)}\left[\frac{X_c}{\left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)Z_0}-\frac{X_m}{Z_0}\left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)\right]=\tan\left(\sqrt{L_0C_0}\,l\omega_n\right) \tag{4-1}$$

其中：

X_m——电源阻抗，$X_m = X_d' + X_T$；

X_c——串联电容器容抗，$X_c = \frac{1}{\omega C}$；

ω——系统电源角频率；

r_0, g_0, L_0, C_0——分别为线路每单位长度的电阻、电导、电感和电容值；

l——线路长度；

Z_0——线路波阻抗，$Z_0=\sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$。

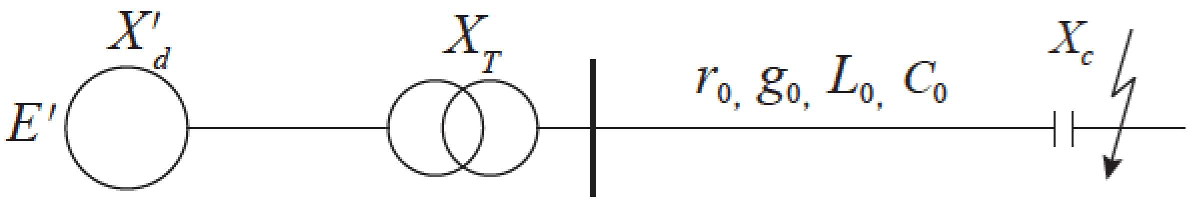


图 4-12　长线路短路系统图

按图 4-13 所示的长线路短路计算网络传统的物理动模，用等价 T 回路来模拟线路。

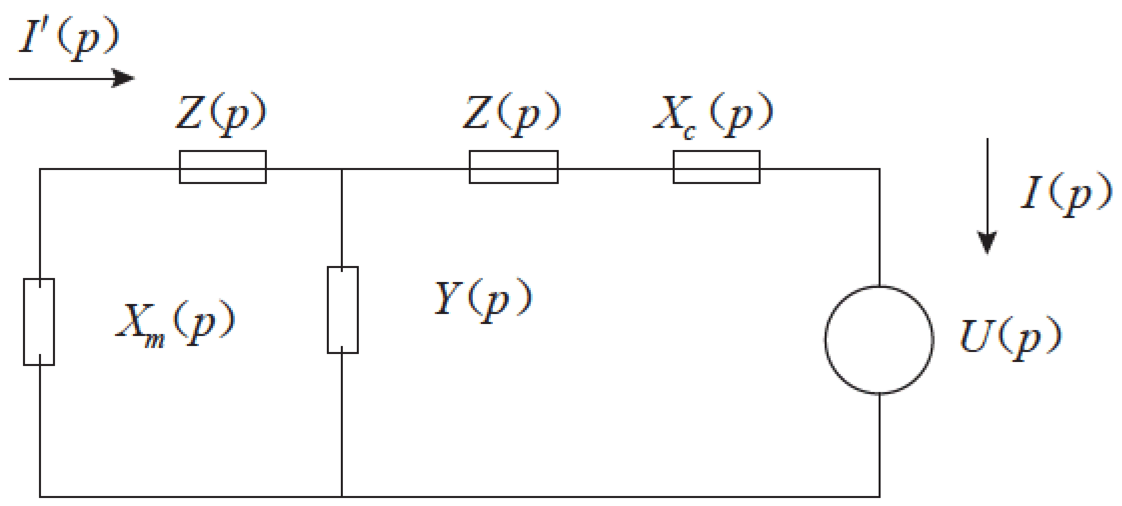


图 4-13　长线路短路计算网络

传统的物理动模用等价 T 回路来模拟线路，当短路故障发生时，一节 T 回路可模拟一个自由振荡频率，多加几节 T 回路就可以多模拟几个自由振荡频率。实际线路发生短路时，最低振荡频率不大可能低于 250Hz，按相邻频率值之间相差倍率接近于 π 来考虑，次最低自由振荡频率应在 750Hz 以上。由于线路导线的集肤效应，通过线路的电流频率越高，衰减必然越快，因此在短路电流中很少可以记录到除第一自由分量外的其他频率分量。在实际系统中，短路电流除第一自由分量外的其他频率分量对继电保护装置的影

响也常常忽略不计。传统的物理动模一般每 50 ～ 100km 线路取一个集中 T 回路来模拟，线路长度 100km 以内通常用两节 T 代表，这种用集中 T 回路模拟线路的方式，就基本满足了继电保护试验对线路模拟的要求。

由于直接采用行波的方式对线路电压电流进行计算，因此可以达到较为理想的分布特性，模拟通过线路的短路电流的各自由分量。如用户需要模拟短线路或不需考虑分布特性的线路时，也可以使用集中参数线路模型。

在具有分布参数特征长线路发生短路故障时，自由分量中的直流分量是因线路电感不允许电流突变而产生，这和集中参数的情况一样。如果回路中没有电阻，当短路发生在强制分量过最大值，即故障点电压在故障时瞬间经过零值附近时，直流分量最大；当短路发生在强制分量电流过零，即故障点电压在故障前瞬间在最大值附近时，直流分量为零。同时线路末端与始端的直流分量大小相等。

短路电流中的高频分量的出现，和直流分量（或低频分量）出现的情况恰好相反。它是因线路上的电压不能突变而产生的，当故障发生在故障相电压为最大时，短路电流中将出现最大的高频自由分量；短路发生在故障相电压过零时，则短路电流中的高频自由分量最小，但不为零。

3）断路器模型

断路器元件可以模拟断路器的三相和分相操作，用户可以根据模拟的需要定义模型元件的各参数，如合闸电阻、跳合时间等。对于三相操作式的断路器模型，为模拟实际系统中三相开关跳合不一致，用户还可以分相定义跳合时间。断路器元件可以有两种控制方式：一种是按照预先设定的时间进行动作；另一种是外部控制，通过通信卡接收外部保护装置发出的动作信号以控制断路器的开合。

4）故障模型

通过使用故障元件，可以非常方便地实现各种故障设置，可任意指定故障发生的时刻、类型和位置，在系统中可设置多个故障，并通过不同的时序和故障设置实现各种复杂故障，如发展性故障、转换性故障等。

2. 闭环测试系统的实时性

测试系统包含仿真计算、计算数据打包、采样值数据发送、GOOSE 报文接收、GOOSE 报文解析等环节。如果各项工作均由测试主机处理，则仿真计算、数据打包解包和通信等工作完全串行进行，此时测试主机 CPU 的处理能力被通信事务大量占据，造成计算能力的极大浪费，无法保证整个测试系统的实时性。如果因此采用较大的仿真计算步长，也将导致计算精度和数值稳定性的降低，很难达到理想的测试效果。

采用测试主机加 IEC61850 通信卡的技术方案时，通信卡采用高速数字信号处理器（Digital Signal Processing，DSP），测试主机加通信卡构成了测试系统的多处理器体系结构。

在工作时，测试主机的 CPU 专注于仿真计算、采样值数据打包以及 GOOSE 报文解包等工作，定时向通信卡中写入采样值数据包或读取通信卡中的 GOOSE 报文包，而

由通信卡负责处理与外部被测装置的通信工作。

通信卡硬件结构如图 4-14 所示。

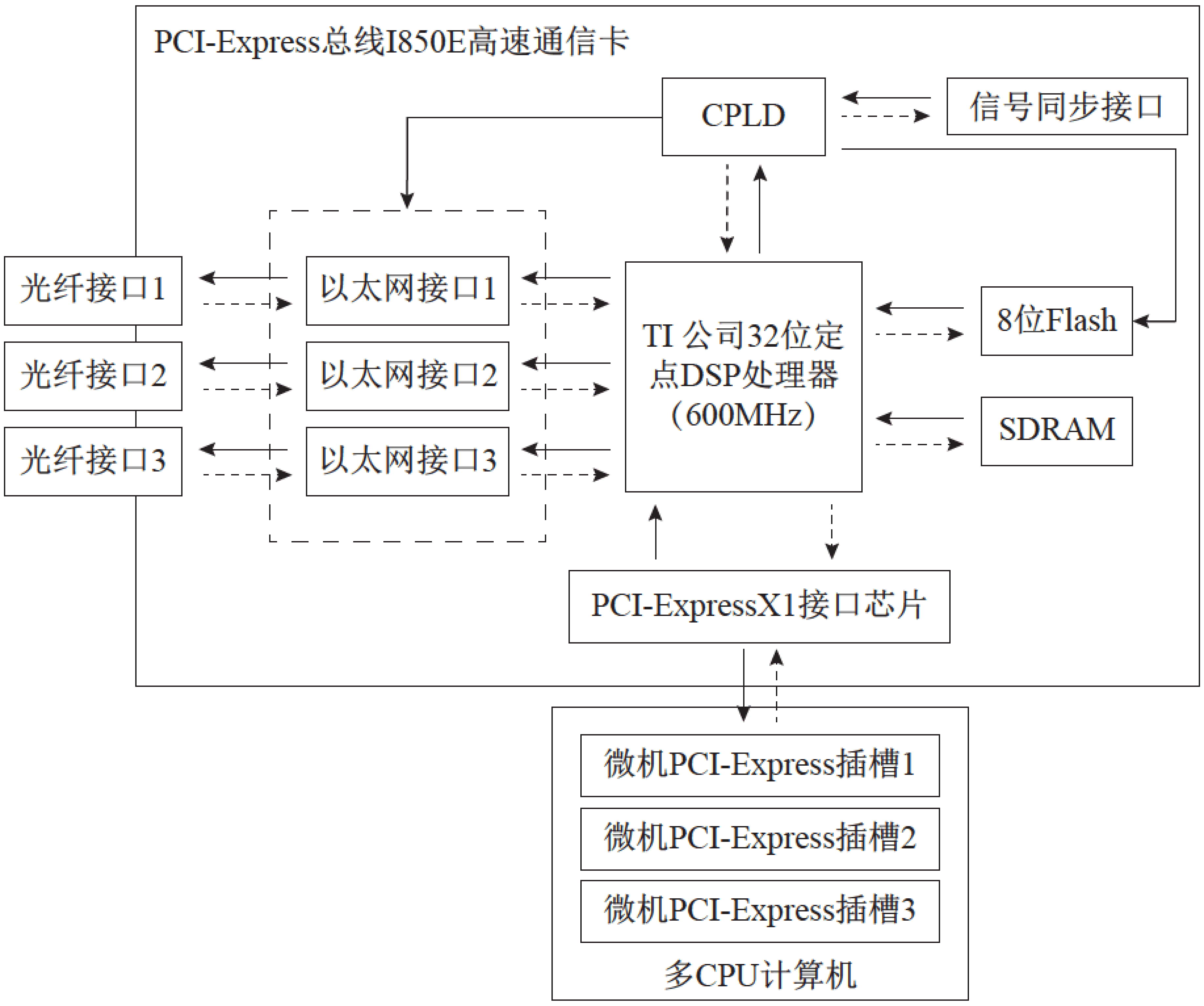


图 4-14 通信卡硬件结构如图

通信卡和测试主机通过把 DSP 片内两块 RAM 映射成两个先进先出（First-In-First-Out，fifo）内存交换数据。一块 FIFO 存储器为仿真数据缓冲区，微机写，通信卡读；另一块为返回状态数据区，通信卡写，微机读。两类数据的流动是单向的，相接又形成闭环。通信卡和微机的数据必须遵从相互约定的一套协议规范。

通信卡上电后，由 DSP 自动引导，从 8 位并行的 Flash 装入程序代码到片内 RAM，并在片内 RAM 高速流水线运行。DSP 按协议从仿真数据 FIFO 缓冲区读入数据，首先读取微机给的配置信息包，进行配置，如获取仿真步长，输出端口等。配置完后启动硬件定时器，将这些数据定时地按配置要求写入相应的 3 个以太网接口控制器中，以太网接口控制器与光纤收发器以 PECL 电平相连。写入 3 个光纤收发器的数据包统一控制发出去，保证 3 个光口数据的同时性。光纤收发器收到数据后传给以太网接口控制器，由以太网控制器以中断的方式通知 DSP，DSP 再将数据包写入返回状态 FIFO 数据区，由测试主机通过 PCI-Express 总线读走。在交互仿真中，DSP 不断地从仿真数据缓冲区读取新的数据，并定时往光纤收发器发出数据和往返回状态数据区写入数据。

从硬件设计方面保证了测试系统的实时性，采用这种多处理器并行处理方式，仿

真计算、数据打包解包和通信工作同时进行，并由通信卡负责仿真计算和输入输出之间的协调同步。在每个仿真步长点，测试主机只需将采样数值等数据写到通信卡中，并把GOOSE 报文数据从通信卡中取回来。通信工作几乎不占用测试主机 CPU 的资源，从而极大地降低了测试主机的仿真步长，提高了测试主机对数据打包解包的速度。

3. 多路信号并发系统的设计

在智能变电站运行过程中，最令人担心的主要问题之一是可能出现的信号传递延迟、阻塞等问题，这在很大程度上决定智能变电站运行的稳定性和可靠性。本测试系统开发了多路信号并发系统，可以同步输出多路光纤信号，并可对其中每路测试信号的收发速度进行准确控制，模拟变电站运行过程中可能出现的各种工况。

测试系统内信号的同步机制如图 4-15 所示。

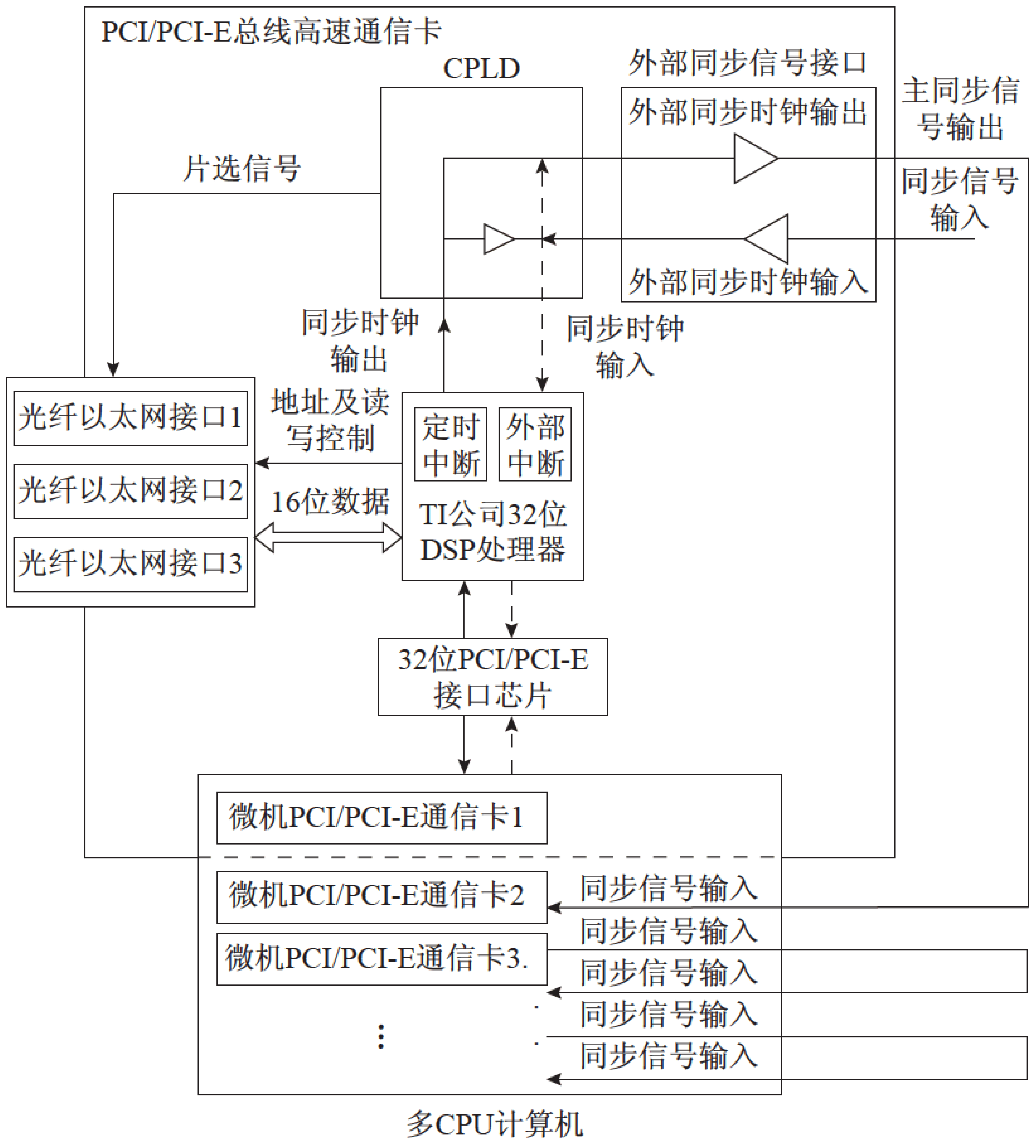


图 4-15　测试系统同步机制示意图

通信卡采用外部时钟同步模式，配置其中一块卡为主同步卡，DSP 定时中断输出的同步时钟进入 CPLD，该时钟信号输出到外部时钟同步接口，经驱动后作为外部同步输

出时钟；用短导线连接到下一块卡的外部同步时钟输入，该时钟信号通过外部时钟同步接口输入到 CPLD，一方面作为时钟输入到 DSP 的外部中断，另一方面又经 CPLD 输出，经驱动后作为外部同步输出时钟，用短导线连接到下一块卡的外部同步时钟输入，依此类推。因为该时钟一直是主同步卡的输出同步时钟，所以能保证同步一致。

输入到 DSP 外部中断的同步时钟信号，中断级别高，立即引起 DSP 中断，DSP 进入中断后，先向板内 3 个光口同时写入启动发送命令，将预先写入光纤以太网端口的数据发出，然后由 DSP 控制从 FIFO 中读取计算机写入的数据，写入到相应的 3 个光纤以太网端口，下一次中断来时启动发出去，这样避免了卡内端口之间及不同卡端口之间数据长度差异造成的写入差异，保证同步一致性。

4. 测试系统参数的自动设置

每个智能变电站都会采用不同厂家的多种设备，对这些装置及其互操作特性进行测试时，如果对站内的所有设备手动配置，工作量是巨大的。因此，通过对全站配置文件的解析来完成测试系统参数的自动设置。

IEC 61850 规定了变电站智能电子设备 IED 的配置描述语言，称为变电站配置描述语言，（Substation Configuration Language，SCL）。该语言描述智能电子设备 IED（测控单元和继电保护）的配置和通信系统。为更容易地描述变电站自动化系统和变电站（开关场）本身的相对关系，以及更容易地实施应用功能，也描述了在应用层上开关场拓扑本身和配置在智能电子设备 IED 上的变电站自动化功能（逻辑节点）的相对关系。

变电站智能电子设备配置语言（SCL）允许将智能电子设备 IED 配置的描述传输给通信和应用系统工具，允许以某种兼容的方式将整个系统的配置描述传递给智能电子设备 IED 的配置工具。

变电站智能电子设备配置语言（SCL）的主要目的是允许不同厂家的配置工具和系统配置工具间可互操作的交换通信系统配置数据。

SCL 文件由文件头元素、子站描述、智能电子设备描述、通信网络、数据模板组成，其中子站描述部分和智能电子设备描述部分可以有多个，分别由子站个数和智能电子设备个数决定。数据模板定义了配置中使用的所有数据类型。

5. 测试参数的自动设置方法

首先，使用成熟、通用性强的编译器，根据 IEC 61850 标准的 Schema 定义文件，直接生成对应的 C++ 代码，形成全站配置解析文档的动态库。

然后，在具体工程中可以直接调用 IEC 61850 标准中定义的各种设备模型所对应的 C++ 类，以此来处理相应的设备实例数据，并将这些数据用于测试系统的参数设置。

6. 测试系统的最终结构及工作流程

测试系统由仿真计算、计算数据打包、采样值数据发送、GOOSE 报文接收、

GOOSE 报文解析等多个环节构成，与被测装置一起构成完整的闭环系统，其原理框图如图 4-16 所示。

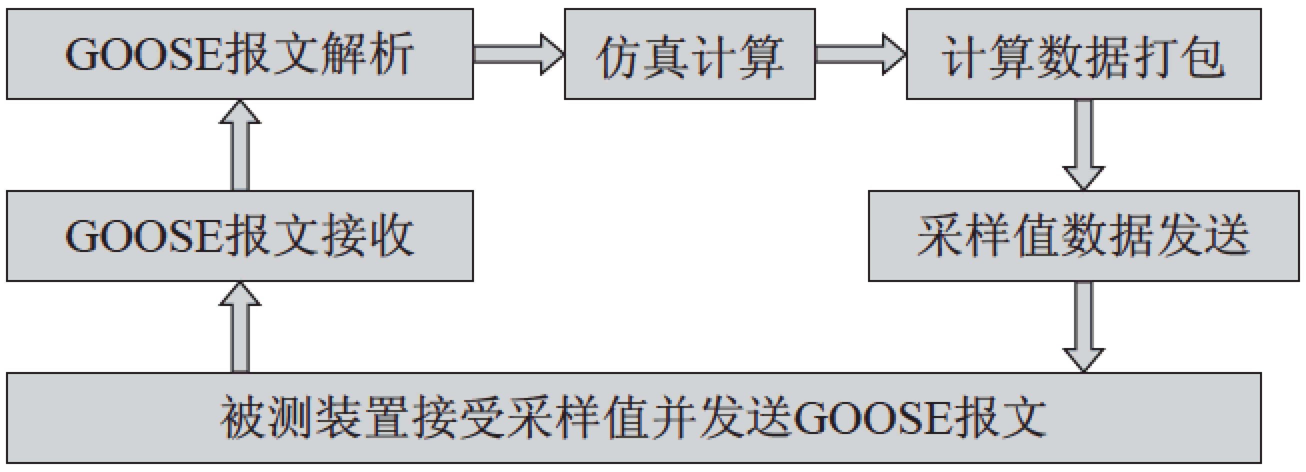


图 4-16　测试系统原理

测试系统的硬件平台由测试主机、IEC 61850 通信卡等组成。其中，仿真计算部分采用电力系统电磁暂态仿真算法，利用瞬时值方式进行计算，可以进行电力系统一次系统部分的仿真计算。仿真系统中包括丰富的电力系统元件模型，如发电机、励磁机及励磁调节装置、调速器、电动机、变压器、负荷、断路器、输电线、电抗器、串补元件等，能够根据系统实际接线结构、元件参数对一次系统的运行情况进行准确的计算，输出与系统实际相同的电压、电流波形。用户可以通过图形界面对电网结构和元件参数进行修改，并可灵活地改变系统一次接线方式。用户可以设置各种典型故障，并可任意设置故障的类型和接地阻抗等参数，从而对系统运行情况进行完整的仿真模拟。电磁暂态仿真算法的数学模型必须建立元件和系统的代数方程、微分方程和偏微分方程，数值求解方法为隐式梯形积分方法，不仅计算系统的工频电量，而且考虑非周期、高频分量以及快速的动态过程。

整个系统的工作过程如下：

（1）测试主机产生测试需要的电压、电流采集信号等系统数据，其功能相当于变电站过程层中的 ECT/EVT 等。

（2）测试主机将计算出的电压、电流等数字量按照 IEC 61850 协议打包。

（3）基于 PCI 总线的通信卡提供光纤以太网端口与保护装置及控制设备相连。一个光纤以太网端口能完成多个电压电流量的传输。其功能相当于变电站过程层中的合并单元（MU）。

（4）保护装置产生的开关变位等信息经过通信卡返回测试主机，由测试主机模拟智能断路器的动作情况。

4.2.3　智能变电站信息流的确定性特征

1. 确定的信息流订阅关系

报文长度、发送间隔以及订阅主体是信息流订阅关系的三要素，对于智能变电站四类信息流（SV、GOOSE、MMS、对时报文）而言，三要素是相对确定的，只存在部分

随机性，下面逐一分析。

1）SV 报文

周期性的传送恒定数据量，具有稳定的、可计算的网络流量。在 IEC 61850 中采样值被定义为原始数据报文，其发送频率与 SV 报文应用的功能相关，保护用采样值要求采样率为 80 点 / 周波，即每秒钟 4000 个报文；电能质量检测用采样值要求采样率为 256 点 / 周波，即每秒 12800 个报文。

SV 信息流用来传输电压、电流等模拟量的采样值信息，该类型报文具有明显的周期性，而且数据流量大，对带宽有较高要求，但流量预知可控。

每一条 SV 订阅关系、报文长度与发送间隔均在 SCD 文件中描述，MU 与应用装置间有明确的 1∶n 订阅关系，是确定性的信息流。

2）GOOSE 报文

GOOSE 报文传输服务采用非面向连接的发布者 / 订阅者通信模型，发送端无法确认接收端是否接收到了报文，所以 Send GOOSE Message 服务采用重发机制来提高数据传输的可靠性，对该服务的应用层建模主要针对 GOOSE 报文的重发机制。如图 4-17 所示，事件发生后，在 T_1 时刻发出第一条更新后的 GOOSE 报文，然后以间隔 t_S=2N×S（N=0，1，2…，S=1ms）重发具有相同信息，但序列计数不同的 GOOSE 报文，即 T_1=1ms，T_2=2ms，T_3=4ms，…，直到间隔稳定为 T_0。T_0 可人为进行设定，若稳定状态下报文为每秒钟两条，则 T_0=500ms，若每秒钟一条，则 T_0=1000ms。

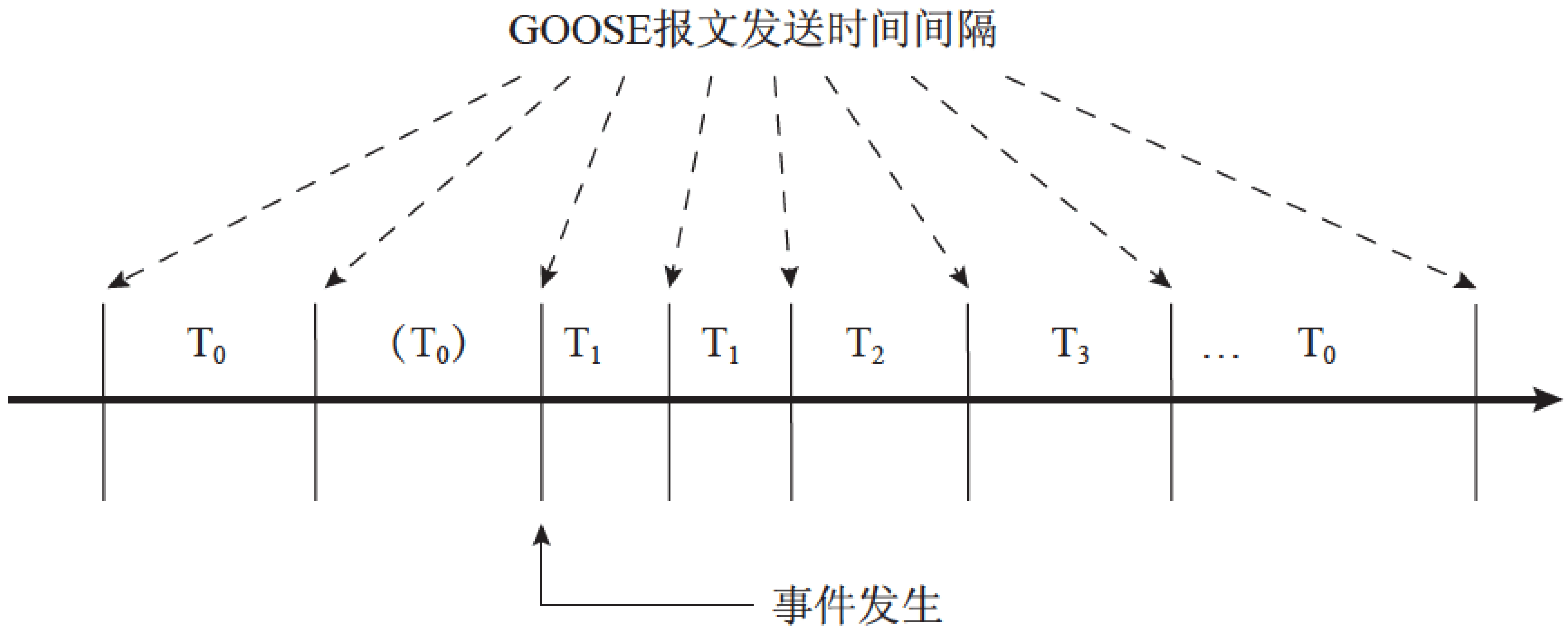


图 4-17　GOOSE 的发送机制

每一条 GOOSE 订阅关系、报文长度与发送间隔均在 SCD 文件中描述，但有别于 SV，GOOSE 有稳定状态和突发状态，但三要素仍然是确定的。

3）MMS 报文

MMS 报文的通信比较随机，既不像 SV 报文那样具有相对稳定的发送频率，也不像 GOOSE 报文那样具有规律的重发。MMS 报文发送的间隔是随机的，有时是突发的。但是，MMS 采用的是服务器—客户模式，在同一时间内服务器的最大连接数是确定的，服务器提供的数据集是确定的，而电力系统规范化标准化的流程令与之对应的业务也是相对确定的（如装置状态信息的定期上传）。因此，MMS 具有相对确定性。

4）对时报文

对时报文是有规范化标准的。以 IEEE 1588 为例，对时报文的长度确定，对象根据同步方式分别为全网络设备或者相邻设备，对时周期确定（一般为 1s）。因此，对时报文是确定的。

2. 确定的信息流传输路径

以太网交换机是智能变电站信息流传输的载体，实际为网桥设备，主要作用是根据收到的数据帧 MAC 地址进行转发、过滤。当交换机在某一端口上收到一个帧，会执行一下操作。如果帧的目的地所在的端口和源所在的端口相同，则网桥丢弃该帧，这称为过滤，所以网桥的 MAC 表也称为过滤表。如果帧的目的地和源所在的端口不同，则网桥向目的地所在端口转发该帧。交换机的转发是基于 MAC 地址的，每个网桥都维护一张记录了 MAC 地址和端口对应关系的 MAC 表，这称为过滤表或转发表。

智能变电站信息流具有明确的信源和信宿，即上文分析的相对确定的四类订阅关系（SV、GOOSE、MMS 和对时报文）。信息流与实体物理设备一一对应，通过交换机一对输入输出端口接入通信网络，并通过端口与连接在网络上的终端设备进行通信。交换机经过学习端口 MAC 地址解析网络路径，生成完整的网络拓扑，如图 4-18 所示。在图 4-20 中，假设 MU1 与交换机 B 端口 1 连接，保护 1 与交换机 A 端口 1 连接，交换机 B 端口 2 与交换机 A 端口 2 连接，保护 1 订阅的 MU1 采样值报文 SV 的完整传输路径为 MU1—交换机 B 端口 1—交换机 B 端口 2—交换机 A 端口 2—交换机 A 端口 1—保护 1。在智能变电站正常投运后，如不出现新增间隔或设备的情况下，网络结构一般不发生变化，这时信息流传输的路径确定。

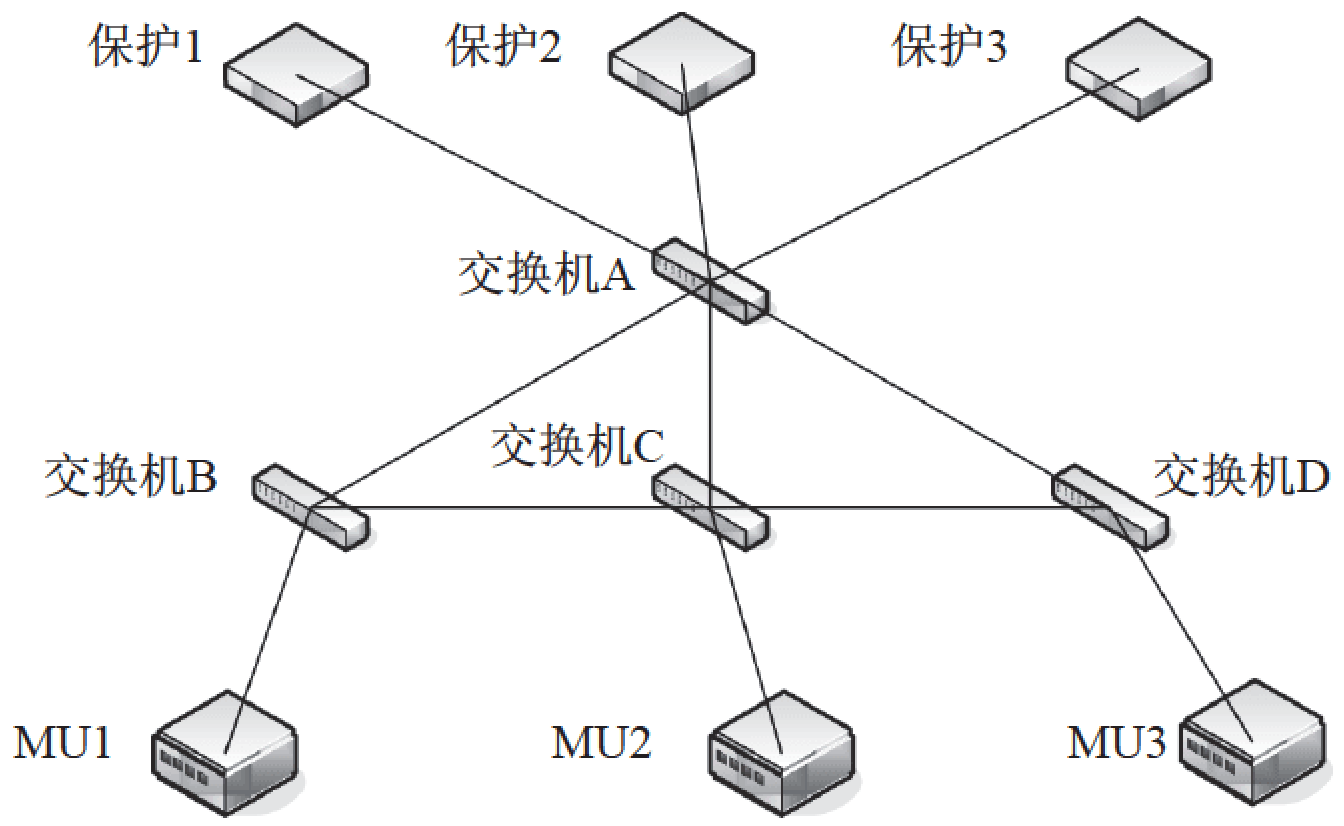


图 4-18 交换机生成的网络拓扑

智能变电站每个交换机端口进出的信息流是相对确定的，即确定的信息流订阅关系、确定的信息流传输路径，每一时间断面每个端口的信息流是可预测的，每条信息流的性能指标是可计算的，因此，智能变电站信息流的实时性可靠性要求和性能表现是确定的。

4.2.4　智能变电站信息网络安全防护技术

1. 多种检测方法的混合型入侵检测技术

入侵检测是对入侵行为的检测。入侵检测系统通过收集网络及计算机系统内所有关键节点的信息，检查网络或系统中是否存在违反安全策略行为及被攻击迹象。入侵检测的数据来源是各种网络安全设备的日志，如防火墙、IDS、IPS 等，这些设备会实时地记录每个时间监测点目标网络的活动情况以便分析目标网络的运行情况。

入侵检测专家系统（IDES）是一个混合型的入侵检测系统，使用一个在当时是创新的统计分析算法来检测异常入侵行为，该系统还使用一个专家系统检测模块对已知的入侵攻击模式进行检测。

NIDES 系统继承了 IDES 系统设计的基础思路，同时做出若干改进更新，以适应更高的用户需求。

最初版本的 IDES 系统仅支持一个单独的目标主机系统，后继版本扩充了系统设计架构，从而可以支持任意数目的异构目标系统。IDES 的系统设计模型如图 4-19 所示，可分为 4 个部分，即目标系统域、邻域接口、处理引擎和用户接口。

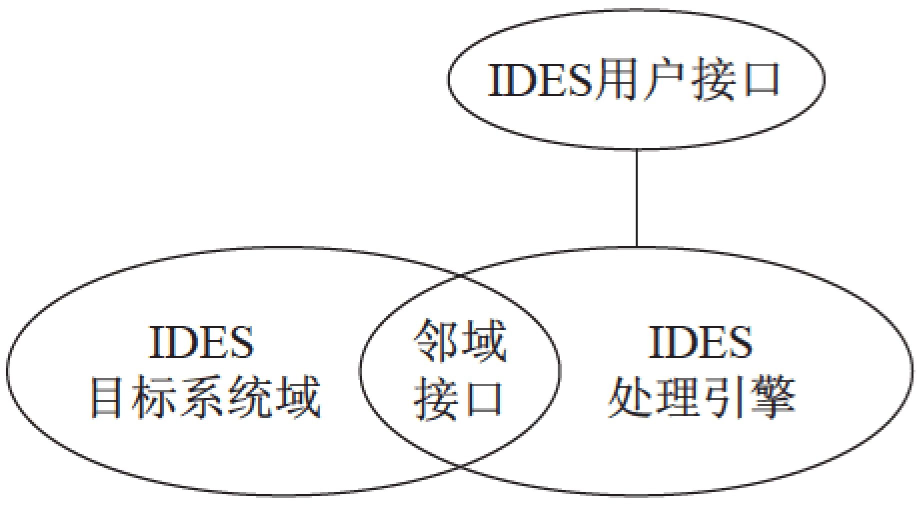


图 4-19　IDES 系统设计模型

在如图 4-19 所示的设计模型中，IDES 目标系统域通常包含一组邻域，而每个邻域又包含多台目标主机。

IDES 处理引擎负责处理从目标系统域中多个邻域内获得的审计数据信息。处理引擎将接收到的审计数据分发给多个分析检测组件，并由这些检测组件对每个审计数据进行分析处理。这些检测组件又可称为“事件子系统”（Event System）。在 IDES 系统中实现了两个检测组件，一个是基于统计分析的方法，另一个是基于规则分析的方法。后面将对这两个检测组件进行介绍。

IDES 的邻域接口是连接 IDES 邻域和 IDES 检测组件的桥梁，该接口由两部分组成：一部分驻留在目标主机系统上（邻域客户），另一部分位于 IDES 处理引擎所在的本地主机上（邻域服务器）。

IDES 的用户接口允许用户观察在系统中所产生和处理的任何信息，包括系统各个组件的状态和活动情况。这里的用户接口独立于基本的 IDES 数据处理过程，其有利于

进行更好的模块化设计。

IDES 系统功能结构如图 4-20 所示，从中可以看出各个组件之间的关系。

从 IDES 系统设计模型可以看出，每个组件的具体实现都可以在不对系统架构进行基本修改的前提下改变，即高度模块化的设计架构允许 IDES 系统的底层实现结构与上层的内核功能实现分隔开来。IDES 系统实际由邻域接口、统计异常检测器、专家系统异常检测器和用户接口构成。

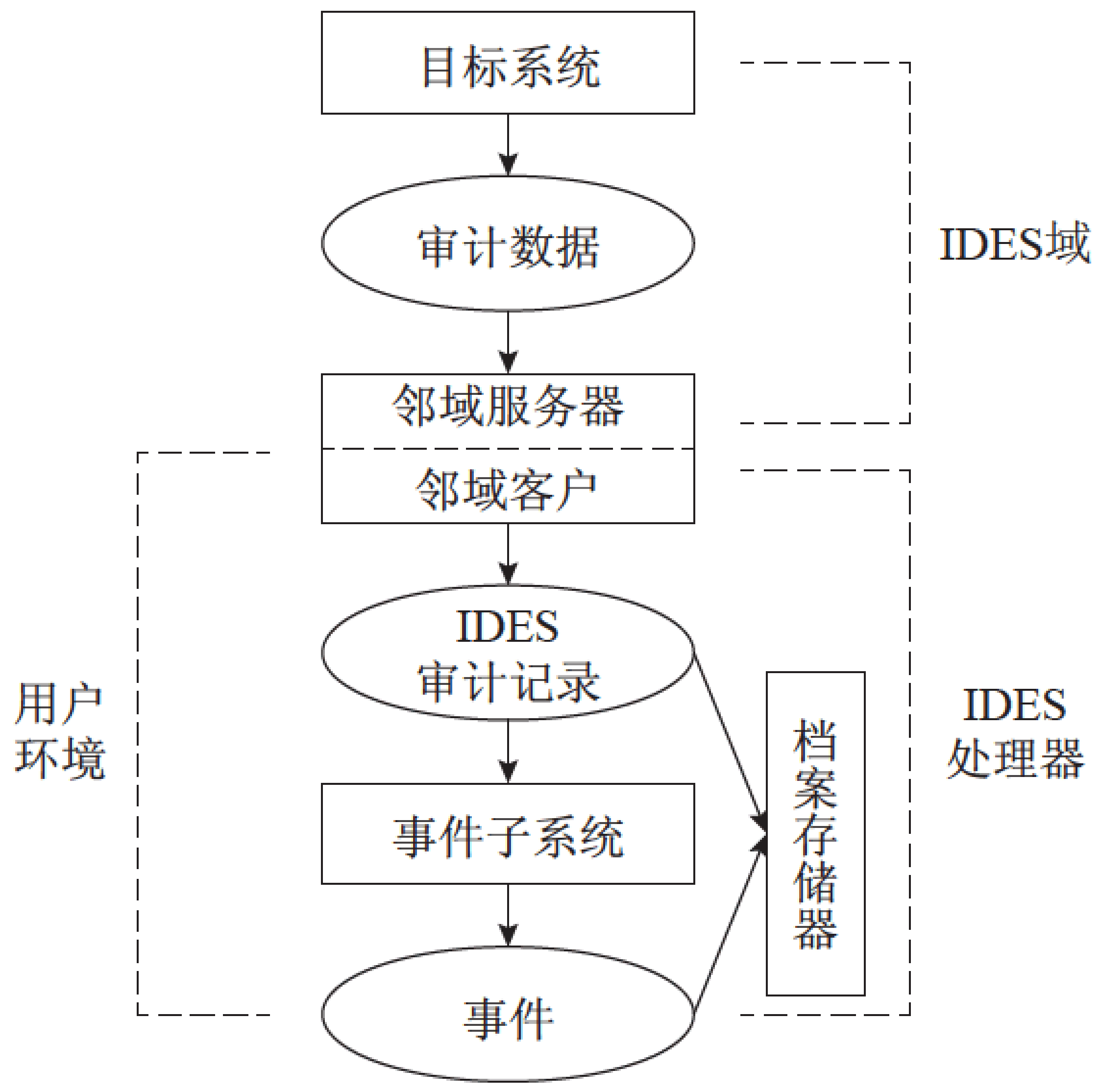


图 4-20　IDES 系统结构

以上每个组件都实现为一个独立的进程，以便使用分布式并行计算技术来提供尽可能实时的入侵检测能力。

NIDES 系统在总体设计上具备自己的独到特点，整个系统被设计成一组客户机和服务器的集合，如图 4-21 所示。其中包括 3 种服务器，即 SOUI 服务器、Analysis 服务器和 Arpool 服务器。

SOUI 服务器负责实现用户接口功能，并由与之相关的 7 个客户机代理执行各种具体的接口功能，包括管理目标监控主机、发送警报信息等。分析服务器负责接收统计分析组件和规则分析组件的分析结果，并负责通过特定代理向 SOUI 服务器提供警报信息。

Arpool 服务器负责管理来自目标主机的审计数据，并提供给后继的检测组件客户进程。

1）邻域接口

IDES 的邻域接口定义了 IDES 系统与目标监控系统之间的交互接口。邻域接口包括两个主要部件：目标系统中的客户组件（Agen）和 IDES 系统中的服务器组件（Arpool）。

在 IDES 系统中，分析处理单元被视为 Arpool 组件的客户。二者之间的通信都是基于 RPC 机制。每个客户组件（统计分析组件和专家系统组件）都可以使用 RPC 过程从 Arpool 中获取审计数据，然后处理它们，最后将其从 Arpool 中删除。

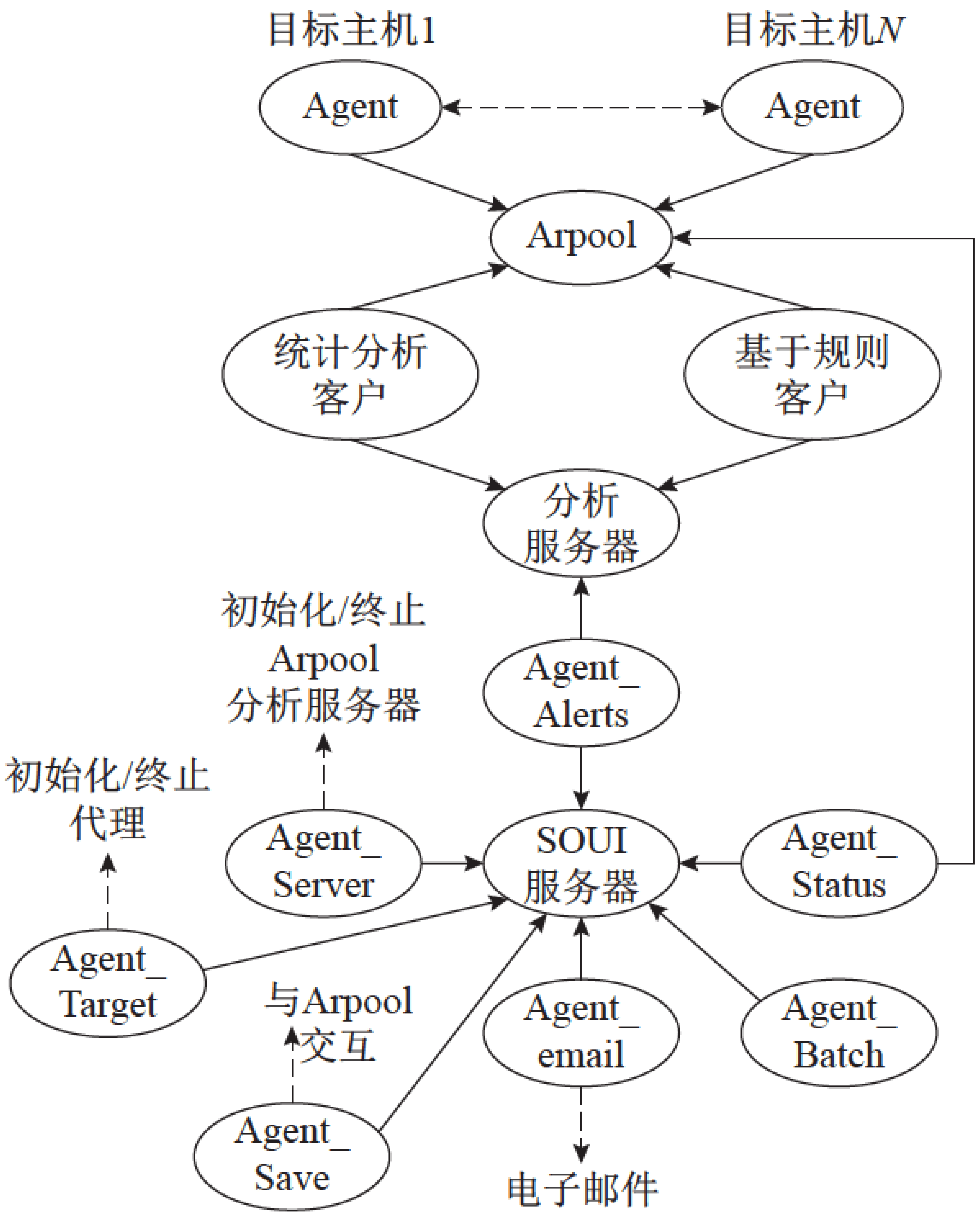


图 4-21　客户机 / 服务器模型

2）统计分析组件

IDES 统计异常检测引擎观测在所监控计算机系统上的活动行为，自适应地学习主体的正常行为模式。

IDES 统计异常检测引擎维护一个主体的统计知识库，其中包含主体的档案。

IDES 中使用的用来确定一个行为是否异常的推导进程是建立在统计数值的基础上的，这些统计值由动态调节的参数来控制，其中的许多参数是针对特定主体类型的。被审计的活动用一个经计算所得的入侵检测变量向量来描述，对应于在档案中记录的测量值。IDES 评价整个使用行为模式，而不是仅仅考虑主体行为的单个测量值的情况。

3）专家系统组件

IDES 系统的基于规则分析组件采用一组规则来评价活动事件（即审计记录流），从而对用户的当前行为是否正常做出评价。

基于规则分析组件的知识库包含大量已知的系统脆弱性知识、已知入侵模式的信息和其他与入侵相关的直觉知识。IDES 基于规则分析组件是一个基于规则的前向链系统，即系统是由输入到知识库中的事实进行驱动的，而非用户设定的目标驱动。

IDES 系统采用 PBEST 专家系统工具来编写检测规则库。PBEST 编译器将用户编写的规则库转换为 C 语言代码，进一步编译后就可构建一个实用的可执行程序。

4）解析器

在 IDES 系统中，规则分析组件和统计分析组件是独立并行工作的。它们共享相同

的审计记录来源，并生成各自的分析报告；在后继的 NIDES 系统中，引入一个解析器组件来合并分析这两个组件的输出结果。

解析器组件分析由统计分析组件和基于规则分析组件各自发出的警报信号，并报告去除冗余后的警报信号。

2. 基于球向量的学习算法

入侵检测的数据来源是各种网络安全设备的日志集 S 构造成 Bagging 算法中弱学习算法可读的数据集 Ssample，选定球向量机（Ball Vector Machine，BVM）作为弱学习算法；循环调用弱学习算法，完成数据集 Ssample 的训练，得到强学习机 H。强学习机 H 进行复合式入侵检测过程的流程图如图 4-22 所示。

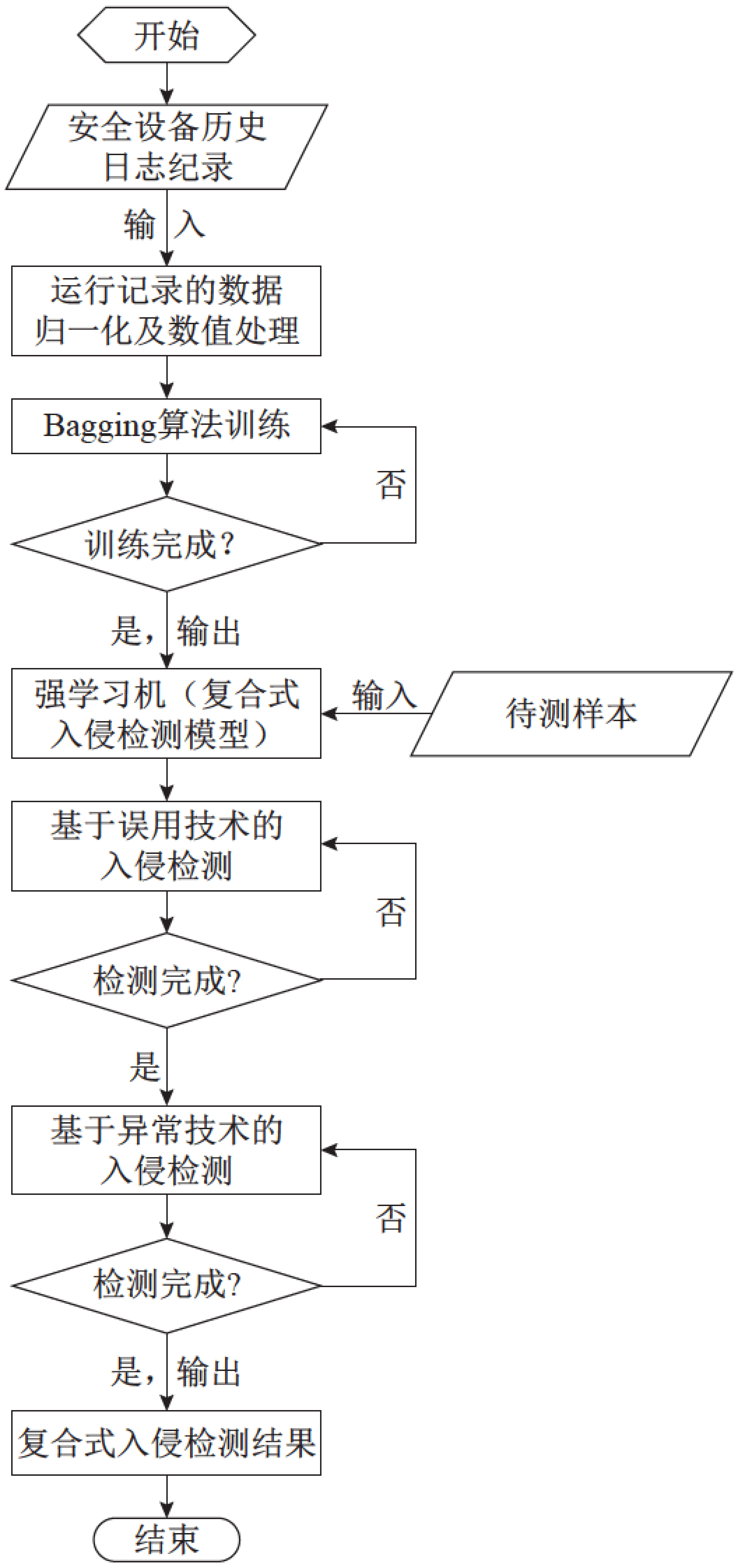


图 4-22 强学习机 H 进行复合式入侵检测过程的流程图

将当前待测的数据样本输入到作为复合式入侵检测模型的强学习机 H 中，强学习机 H 利用各代弱学习机 hi 进行初步入侵检测，并以投票的方式判定当前待测数据样本的入侵检测结果，得票数多的入侵检测结果为强学习机 H 最终入侵检测结果。这里对目标网络进行入侵检测，即克服了原有入侵检测技术中普遍存在的检测精度低、泛化能力差等缺陷，大大降低了误报率和漏报率。

集成学习 Bagging 算法是通过并行生成多个弱学习机完成对目标问题的解决。对于固定的初始样本集，集成学习 Bagging 算法采用有放回的方式每次以随机概率抽取相同个数的样本组成样本子集，并输入弱学习算法训练，从而得到弱学习机序列，该序列即为强学习机。最终分类判别时，根据各个弱学习机的判别结果投票决定待分类样本的类别归属。集成学习 Bagging 算法可以有效地提高泛化能力，因为其每次样本子集生成过程均为有放回的随机抽取 Bootstrap Aggregating 方法，各个弱学习机之间不存在依赖关系，保证了集成学习 Bagging 算法的可靠性

4.3 智能变电站物联网技术应用案例分析

智能变电站一次设备物联网系统、智能变电站二次物联网系统、智能变电站综合物联系统等应用案例分析是本节介绍的主要内容。

4.3.1 智能变电站一次设备物联网系统

一次设备的智能化是智能变电站数据和信息采集的前提条件。从现有技术条件来看，一般可以采用一次设备本体与智能组两者结合的方式实现一次设备的智能。采用标准的信息借口，实现融状态监测、测控保护、信息通信等技术于一体的智能化一次设备，可满足整个智能电网电力流 / 信息流、业务流一体化的需求。

1. GIS 设备的基本概念

GIS 是 SF6 全封闭组合电器（Gas-Insulater Switchgear，SF6），体积小，技术性能优良。它由断路器、母线、隔离开关、接地开关、电流互感器、电压互感器、避雷器、电缆终端或出线套管等元件组成。它是金属筒为外壳导电杆和绝缘件封闭在内部并充入一定压力的 SF6 气体，其绝缘性能灭弧性能都比空气好得多，全封闭组合电器一般在户内布置较好，也可使用在户外。

组成 SF6 气体的硫和氟都是非常活泼的元素，但 SF6 气体是一种惰性气体，为无色、无臭、无毒、不燃烧的极其稳定的气体。SF6 绝缘性能非常好，在 1 个大气压时与空气相比，其放电电压为空气间隙的 2.5 ～ 3 倍。在均匀电场下，SF6 具有比空气高的绝缘性能，

而且随着气压的增加，放电电压成正比上升，在 3 个大气压下 SF6 气体的工频绝缘强度与变压器油相当。但 SF6 气体在电弧高温下与水分子、空气等杂质反应可能产生一些有毒物质，从而腐蚀断路器内部结构材料并威胁人员安全。

2. GIS 的特点

1）节省占地面积及空间

SF6 全封闭组合电器是以 SF6 气体作为绝缘和灭弧介质、以优质环氧树脂绝缘子作支撑的一种新型成套高压配电装置，节省了大量的占地面积与空间。

按经验公式，全封闭电器占用空间与敞开式的比率可近似估算为：

$$A=10/UN\times 100\% \quad （UN\ 额定电压，kV）$$

对 500kV 来说，占用空间约为敞开式的 1/50，其效果显著。

2）运行可靠性高

SF6 封闭电器由于带电部分封闭在金属外壳中，因此不受污秽、潮湿和各种恶劣气候的影响，亦不会因小动物钻入引起短路或接地事故。

3）维护工作量小，检修间隔时间长

由于是全封闭断路器，且采用 SF6 气体作为灭弧介质，触头正常操作负荷电流，对触头几乎没有什么影响，即使开断故障电流，对触头也烧损甚微。制造厂规定其检修间隔可达 20 年。规定在额定负荷电流下操作 2000 次才需要解体检修。在故障情况下，断路器触头的烧损显然与故障电流的大小及切断的次数有关。SF6 全封闭断路器的日常维护工作量小，仅需定期（1 ～ 5 年）进行操作机构检查、故障诊断、GIS SF6 气体微水量测定，以及操作回路、油回路及油压小开关的检查。

4）GIS 的铝合金外壳

许多 GIS 使用铝合金外壳。使用铝合金外壳的特点是重量轻（约低于钢材重量的 1/2），其相应的土建及安装工作量小。铝合金系非磁性材料，可减少涡流发热；铝合金本身表面形成的一层氧化膜抗腐蚀能力比其他金属强。

5）抗震性能好

GISSF6 全封闭电器很少有瓷套管之类的脆性元件，设备的高度和重心较敞开式电器要低得多，且本身的金属结构具有足够抗受外力的强度，因而抗震性能好。

6）抗干扰性能好

由于金属外壳接地的屏蔽作用，能消除无线电干扰、静电感应，同时也没有偶尔触及带电体的危险，有利于高压配电装置的设备及人身安全。

当然，GIS SF6 全封闭组合电器对材料性能、加工精度和装配工艺要求很高，对 SF6 气体的纯度和微水含量有较为严格的要求，断路器本身金属消耗量大，造价较高。但随着电压等级的增加，由于敞开式整个配电装置的金属消耗量大，因此全封闭组合电器造价及金属消耗量问题就不突出了。

3. 电子式互感器

1）电子式互感器的概述

随着电力系统中电压等级的升高，传统的电磁式互感器因其结构复杂，造价高，体积庞大而逐渐难以满足电力系统安全运行的要求；随着电力系统的测控、保护设备朝着微机化、智能化、一体化的方向发展，互感器已无须输出大功率的信号；同时基于电子技术、计算机技术、光纤通信技术的快速发展，新型的电子式电流互感器、电子式电压互感器、电子式电流电压互感器陆续在各级电力系统中投入使用。

电子式互感器，即小电压模拟量输出或者数字量输出的互感器，这种互感器包含电子部件，因此也叫电子式互感器。为和传统电磁互感器区分，有些文献也叫非常规互感器。共同特性是：信号输出，无负载损耗能力强。光纤是最理想的传输方式，数字输出是终极输出方式。

电子式互感器由连接到传输系统和二次转换器的一个或多个电流或电压传感器组成，用于传输正比于被测量的量，供给测量仪器、仪表和继电保护或控制装置。在数字接口的情况下，一组电子式互感器共用一台合并单元完成此功能。可以分为电子式电流互感器（ECT）和电子式电压互感器（EVT）两大类。

电子式电流电压组合互感器采用低功率铁芯线圈（LPCT）传感测量电流，采用空芯线圈传感保护电流，使互感器具有较高的测量准确度、较大的动态范围及较好的暂态特征；采用电容分压器传感被测电压，体积较小，重量较轻，线性度好。电子式互感器的远端模块及合并单元采用双重化冗余配置，保证电子式互感器具有较高的可靠性。电子式互感器利用光纤传送信号，抗干扰能力强，并采用内嵌光纤的实芯支柱式复合绝缘子。电子式互感器主要由四部分组成。

（1）一次传感器。一次传感器位于高压侧，包括一个低功率 CT（LPCT）和两个空芯线圈。低功率 CT 用于传感测量级电流信号，空芯线圈用于传感保护级电流信号。除了传感一次电流的低功率 CT 和空心线圈外，电流互感器还配置了取能线圈，取能线圈用于从一次电流获取电能给远端模块提供工作电源。两个空心线圈分别连接两个远端模块，实现双重化。

（2）远端模块。远端模块也称一次转换器，位于高压侧。远端模块接收并处理低功率 CT 及空芯线圈的输出信号，远端模块的输出为串行数字光信号。远端模块的工作电源由合并单元内的激光器或高压电流取能线圈提供。当一次电流小于 20A 时，远端模块的工作电源提供；当一次电流大于 20A 时，远端模块的工作电源由高压电流能线圈提供。两种供电方式可实现无缝切换。本所两远端模块分别连接保护屏上两合并单元，从而满足保护的双重化配置要求。

（3）电容分压器。电容分压器将被测高电压分出一了较低电压信号给远端模块进行处理，分压信号从电容分压器的高压端引出。电容分压器采用内嵌光纤的实芯支柱式复合绝缘子。绝缘子内嵌 6 根多模光纤，本所使用其中 4 根光纤（2 根传输激光，2 根

传输数字信号），另外 2 根光纤备用。

（4）合并单元。合并单元置于控制室，合并单元一方面为远端模块提供供能激光，另一方面接收并处理三相电流互感器及三相电压互感器远端模块下发的数据，对三相电流电压信号进行同步，并将测量数据按规定的协议输出供二次设备使用。

2）电子式互感器的优势

下面介绍电子式互感器的主要优势。

（1）高低压完全隔离，绝缘简单，安全性高。

（2）不存在磁饱和、铁磁谐振等问题。

（3）频率响应宽，动态范围大，精度高。

（4）体积小，重量轻，节约占地面积。

（5）无污染，无噪声，具有优越的环保性能。

（6）数字信号分享更为容易，带负载能力强。

（7）成本与电压等级的关系不大。

（8）方便地实现电压电流组合式。

（9）适应电力系统数字化、智能化和网络化的需要。

4.3.2 智能变电站二次设备物联网系统

1. 主变保护配置

按照相关的规程要求，智能变电站的变压器保护应采用双套保护进行配置，即进行主、后备保护一体化的配置方式，且后备保护可采取与测控装置一体化的配置方式进行配置。当智能变电站的保护装置采用上述保护进行配置时，其各侧的合并单元和智能终端也应采用双套的配置法方式。

UDT-531 变压器保护测控装置适用于 110kV 及以下各种电压等级的变压器，可选配非电量保护和测控功能，满足不同接线方式变压器的各种配置要求，装置支持 IEC61850 标准。

UDT-531 采用模块化设计编程方式，可利用专用配置工具，根据不同的需求对保护功能模块进行配置，功能调整方便。主变保护配置的主要保护功能有三方面。

（1）电气量保护功能如下。

① 比率制动差动保护。

② 增量差动保护。

③ 差流速断保护。

④ 相间后备保护。

⑤ 接地零序保护。

⑥ 不接地零序保护。

⑦ 充电保护。

（2）非电量保护功能如下。

① 本体重瓦斯。

② 调压重瓦斯。

③ 本体轻瓦斯。

④ 调压轻瓦斯。

⑤ 压力释放。

⑥ 温度过高。

⑦ 冷却器全停。

⑧ 油位异常。

⑨ 油温异常。

⑩ 绕组温度。

（3）异常告警保护功能如下。

① 过负荷告警。

② 有载调压闭锁。

③ 启动风冷。

④ 零序过压告警。

⑤ TA 异常告警。

⑥ TV 异常告警。

⑦ 装置自检。

UDT-531 变压器保护测控装置可以同时集成一台变压器的全部测控功能，主要功能配置如下。

（1）遥测：标准配置为三组电压及电流，可扩展。

（2）遥信：标准配置为 48 路，可扩展；遥信处理分单点遥信和双点遥信。

（3）遥控：20 路遥控输出，可扩展。

（4）遥调：5 组分接头调节，可选配滑档闭锁功能。

（5）就地操作功能。

（6）直流、温度采集：12 路直流，可扩展。

（7）同期功能：1 路，可选配。

（8）间隔五防闭锁功能。

下面介绍 UDT-531 变压器保护测控装置主要模件功能配置。

（1）人机接口模件（HMI）如下。

① 通过以太网口与主 CPU 交换数据。

② 采用思源弘瑞键盘（方向键、+ 键、- 键、取消、确认、区号、复归键）。

③ 运行（绿色）、测试（红色）、告警（红色），9 个自定义灯。

④ 液晶屏分辨率为 240 × 320，全中文汉化界面。

⑤ 液晶屏显示对比度可根据环境温度自动调节，装置无可调器件。

⑥ 液晶屏背光电源控制——有按键操作或有消息触发时点亮背光，连续无操作或触发 5 分钟后自动关闭背光源。

⑦ EEPROM——保存 HMI 配置表。

（2）主 DPU 模件（CPU）如下。

① 大容量 SDRAM，用来运行程序及数据暂存。

② 两片 64MB 程序存储器（NOR FLASH），BOOT 程序及应用程序均可在线升级。

③ 配有数据存储器（DATA FLASH），用于存储配置文件及定值文件等。

④ 大容量 CF 卡存储，用于存储录波文件及其他文件。

⑤ 4 个 100/1000MB 过程层光纤以太网接口，支持组播、优先级、VLAN 等功能。

⑥ 2 个 100MB 站控层光或电以太网接口。

⑦ 2 路告警开出，告警和掉电时接点闭合。1 路运行 / 检修开入。

⑧ CAN 接口：位于母板，用于主 DPU 与 I/O 扩展通信。

⑨ IRIG-B：对时信号输入。

⑩ 硬时钟。

（3）I/O 模件如下。

① I/O 扩展模件可能有多种应用，一般为通用开入开出。

② 每块 I/0 扩展模件有 14 路开入，可直接接入 DC24V、DC110V 或 DC220V。

③ 所有数字量输入都用光电隔离，并分成 8 路、6 路两组，每组分别引出一个公共端。

④ 输出 8 路独立开出，输出接点为继电器常开接点。

⑤ ID 芯片——插件身份唯一确定。

⑥ 具备 CAN 网通信功能。

⑦ 可接收时间信息及秒脉冲。

⑧ 板卡地址自动识别。

（4）PWR 电源模件如下。

① 单组 5V 电源输出，额定功率 40W，输入 DC110V，DC220V 可选。

② 电源失电告警接点输出。

（5）虚端子。

对于全数字化的间隔层装置，模拟量及开关量分别由合并单元和智能单元通过过程层网络送至本装置，本装置的跳合闸等控制命令通过网络送至智能单元执行。

装置的输入输出包括模拟量的输入、开关位置等状态信息的输入及跳合闸命令等输出。在数字化装置中，装置的输入数据均通过网络获取，装置动作结果也通过网络发送至相关设备。为了形象地表征这些网络流数据，采用“虚端子排”和“虚端子”的概念来描述。在智能变电站中，装置间虚开出、虚开入、虚模入的连接都是由系统配置工具来完成的。

UDT-531 变压器保护测控装置可以通过配置软件配置用户需要的主接线图。主界面

可以显示各相差流、功率测量值、断路器的状态。

2. 测控装置

UDC-501A 测控装置是 SHR5000 变电站系统的间隔层产品，可作为变电站系统的间隔层测控单元，也可单独作为普通公共测控装置使用。可接受设备层装置符合 IEC61850-9-2 的网络化采样值和 GOOSE 信息，控制命令采用 GOOSE 机制，与站控层的信息交互基于 MMS，该装置具有测量、控制、监视、记录、同期等功能。

下面介绍 UDC-501 测控装置的主要功能配置。

1）遥测

标准配置为 5 组四相电压及四相电流。遥测属于测量 LD，交流（直流）测量使用 MMXU 建模，单相测量使用 MMXN 建模，不平衡测量使用 MSQI 建模，电度测量采用 MMTR 建模，不同的测量对象采用不同的实例。遥测数据以两种方式上送：变化量越限上送和循环上送。

当遥测量的变化量越限时，立即上送越限的量，越限的门槛值可以通过定值设定。循环上送周期可整定。

测量数据包括相电流、相电压、线电压、有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、频率、电压序分量、电流序分量、电流谐波畸变率、电压谐波畸变率、频率、电度等。测量的输入分为两表法和三表法。

（1）三表法输入：Ua，Ub，Uc，Ia，Ib，Ico

（2）两表法输入：Ua，Ub，Uc，Ia，Ib，Ic

2）遥信

标准配置为 96 路。遥信处理分为单点遥信和双点遥信，属于控制及开入 LD，单点遥信采用 GGIO 建模，不同的遥信状态采用不同的 GGIO 实例；双点遥信采用 CSWI 模。

对于重要的断路器或刀闸，用它的跳位状态和合位状态组成一个双点遥信来表示它的状态。两路开入组成的双点遥信有四种状态（00，01，10，11），其中 0（跳位）1（合位）、1（跳位）0（合位）分别对应双点遥信的合、分状态，0（跳位）0（合位）、1（跳位）1（合位）是无效状态。

3）遥控

41 路遥控输出，其中 5 路带同期功能。属于控制及开入 LD，断路器控制、隔离开关与接地刀闸控制 LN 为 CSWI，DO 为 DPCo。遥控可以根据具体工程选择具体数量，也可以选择具体的遥控模式，即选控或直控模式。控制单元主要负责完成接受命令并根据命令输出相应的控制信息。正常遥控过程为：遥控选择—五防逻辑判别为真—选择对象正确—回答选择成功—遥控执行—执行对象正确—回答执行成功。本装置应连接为智能化过程层设备，通过 GOOSE 接收过程层智能设备的开关刀闸的位置信息。这些位置信息在间隔层设备建模为 CSWI（与该开关或者刀闸的控制模型对应），采用数据 Pos、数据属性 stVal、供站控层设备与间隔层设备交换信息使用。

UDC-501A 测控装置功能配置由专用的工程配置软件完成。根据工程需要，将广泛应用的几种功能配置设计为典型功能配置，并给出典型功能配置文件。工程应用时可以直接选用这些典型功能配置，或在这些典型功能配置基础上定制工程特定的功能配置。装置中共有三个 LD。

（1）公用 LD，inst 名为 LD0，主要完成装置参数的设定及自检逻辑。

（2）测量 LD，inst 名为 MEAS，完成交流及直流量值的采集及测量，即遥测功能。

（3）控制及开入 LD，inst 名为 CTRL，完成遥控、同期检测等功能。

UDC-501 测控装置可以通过配置软件配置用户需要的主接线图。主界面可以显示功率测量值、断路器的状态。

3. 10kV 线路、接地变、母线分段保护

UDL-551 线路保护测控装置以电流电压保护及三相重合闸为基本配置，同时集成了各种测量、控制功能，安装于 10kV 开关柜，作为 10kV 线路、10kV 接地变、10KVI、Ⅱ段母线分段保护装置。

10kV 线路、接地变、母线分段保护主要功能配置有以下几种。

1）保护功能

保护功能包括方向（复压）过流保护、过流加速保护、零序（方向）过流保护、零流加速保护、三相一次重合闸、三相多次重合闸、过负荷保护、低周减载、低压减载、手合同期、小电流接地检测、TV 异常检测、控制回路异常告警、弹簧未储能告警等功能。

2）测控功能

（1）遥测：装置的测量回路有独立的交流输入（CIA，CIB，CIC）接测量 TA，与保护回路的交流输入分开。测量 Ia、Ib、Ic、I0、Ua、Ub、Uc、U0、Uab、Ubc、Uca、P、P0、Q、Q0、f、cos ∮ 以及积分电度。

（2）遥信：各种保护动作信号及断路器位置遥信、开入遥信等。

（3）遥控：远方控制跳 / 合闸、压板投退、修改定值等。

3）网络通信

装置具有双以态网通信接口，可以直接与微机监控或保护管理机通信，IEC 61850 规约。

4）数据记录

装置可存储最后的 1000 条事件报告及告警报告。事件报告包括动作事件、状态检修事件等。告警报告包括装置自检告警、各种保护告警。装置可记录最后 200 个事故报告及其录波信息，用于事故分析。数据存入 Flash，掉电不丢失。

保护运行中发生动作或告警时，自动开启液晶背光，将动作信息显示在 LCD 上，同时上传到保护管理机或当地监控。如果多项保护动作，动作信息将交替显示在 LCD 上。可以用装置面板上的复归按钮复归，也可以用通信命令复归；保护动作后如不复归，信息将不停止显示，信息自动存入事件存储区。运行中可在“报告管理”菜单中查阅所有动作信息，包括动作时间、动作值。

UDL-551 线路保护测控装置可以通过配置软件配置用户需要的主接线图。主界面可以显示主控制功能接线图。

4. 110kV，10kV 备自投（备用开关自动投入装置）

UDA-501 变电站自动控制装置适用于各种电压等级的系统安全稳定控制以及备用电源投切。UDA-501 系列装置集成了频率电压紧急控制、备用电源投切、进线过负荷、主变过负荷以及小电流接地选线等功能，可满足系统安全稳定要求。110kV，10kV 备自投采用此装置。

UDA-501 备自投装置可以通过配置软件配置用户需要的主接线图。主界面可以显示主控制功能接线图。

应用 UDA-501 备自投装置主要采用两种方式。

1）桥开关备自投

桥开关备自投适用于单母带分段运行方式下的典型接线。正常运行时，每条进线各供一段母线，采用桥开关备自于投。

2）进线备自投

进线备自投适用于单母分段运行方式下的多种备投方式。根据主接线方式的不同，能够与线路分段备自投功能配合实现进线及桥开关的自投和互投。单母分段运行方式在保护逻辑上体现为进线 I 固定接一母，进线 II 固定接二母。

正常运行时，若一条进线带两段母线并列运行，另一条进线作为备用，采用进线备自投。若正常运行时，若每条进线各带一段母线，采用桥开关备自投。

5. 合并智能单元

UDM-502 系列合并智能单元配合各种可选配的功能模件可以适用于三相断路器间隔、分相断路器间隔、母线 PT 间隔以及变压器本体间隔等各种应用场合。通信规约符合 IEC61850 标准，适用于各种电压等级的变电站自动化系统过程层。

UDM-502 系列合并智能单元具有 UDM-502A、UDM-502B、UDM-502C 三种尺寸的机箱结构，配合各种可选配的功能模件，可用于三相断路器间隔、分相断路器间隔、母线 PT 间隔以及变压器本体间隔等各种应用场合。通信规约符合 IEC 61850 标准，适用于各种电压等级的变电站自动化系统过程层。

下面介绍 UDM-502 合并智能单元的主要功能配置。

（1）输入功能如下。

① 交流电压、交流电流：最多可接入 12 路常规电压或电流互感器二次侧电压和电流量。

② 电子式互感器接口：最多可接入 7 个光纤通道，每个光纤通道有 3 路模拟量数据。

③ 开关量输入：在 I/O 模件上，路数根据需要配置。

④ 直流量输入：接入在线监测传感器输出量，0 ～ 75mV/4 ～ 20mA 可选，每个模件（DCI）可接入 6 路直流量输入。

⑤ GOOSE 输入：符合 IEC 61850-8-1，IEC 61850-9-2 可选。

（2）输出功能如下。

① SMV 输出：符合 IEC 61850-9-1，IEC 61850-9-2 可选。

② GOOSE 输出：符合 IEC 61850-8-1。

③ 继电器：在 I/O 模件上，路数根据需要配置。

作为过程层装置，UDM-502 合并智能单元可以同时采集并传输 PT/CT、LPCT、电子式互感器（光纤通信接口）的原始采样数据，发送符合 IEC 61850-9-1 和 IEC 61850-9-2 的采样值信息给间隔层装置。装置包括完全独立的多个 100MB 光纤以太网，每个以太网具有独立的时钟同步通道，可采用 IEEE 1588、秒脉冲或 IRIG-B 对时方式。如果无对时信号接入，装置工作在失步状态，将根据自身的时钟输出采样值。

装置具有开关量及其他一次设备在线监测量的采集和传输功能，响应间隔层的 GOOSE 跳合闸等命令。装置可提供直流量采集，大量开入量采集和开出执行，通过逻辑组合可灵活实现非电量直接跳闸、分接头调档、刀闸控制、五防控制、一次设备在线监测等组合功能。

（1）智能操作箱功能。UDM-502 合并单元可配置专门的跳闸模件（TRIP 模件），分别实现智能三相操作箱、智能分相操作箱功能。

（2）非电量跳闸、告警。装置可实现非电量直接跳闸、电量延时跳闸以及非电量告警功能。

（3）刀闸控制。装置可实现多个刀闸（隔离开关、接地开关）控制和状态采集功能。一个刀闸控制功能的配置如下。

① 配置两个开入分别采集刀闸分位状态，合位状态、组合为双位置信号，再经 GOOSE 送给间隔层装置。

② 可接受过程网络下达的遥分，遥合两个 GOOSE 命令，分别经对应的两个开出执行实现刀闸的分、合操作。

（4）就地五防控制。装置可实现多个操作对象的就地五防控制。下面介绍每一个操作对象的五防控制功能配置。

① 配置一个开入，用于采集开锁请求信号，经 GOOSE 送给间隔层设备。

② 可接收过程网络下达的开锁 GOOSE 命令，经对应的一个开出执行开锁命令。

（5）一次设备状态监测。装置通过配置直流变换器模件采集各种传感器输出的直流电流、直流电压量，并转换为数值量经 GOOSE 送给间隔层设备，实现变压器、断路器、刀闸等各种一次设备状态监测功能。

6. 集中计量装置

智能化变电站的电能计量系统和传统变电站的电能计量系统有所不同，其主要区别在于计量设备和通信网络。常规变电站主要采用电磁式互感器将采集的电压、电流模拟量通过电缆传送到传统电能表中，再通过电能表对数据进行处理计算，然后采用

DLT 645 规约通过串口以问答方式上送到传统的电能远方采集终端（ERTU），远方的电能系统主站根据 IEC 60870-5-102 规约召唤 ERTU 中的电能数据。随着技术的不断发展以及 IEC 61850 标准的推广应用，智能变电站采用电子式互感器＋合并单元来完成电压、电流数据的采集，再输出数字信号，再通过 IEC 61850-9-2 标准协议建立过程层以太网网络来将数据传送给支持 IEC 61850 标准通信的计量装置并进行数据的处理和计算，然后通过 IEC 61850 标准的站层 MMS 网络主动传送到计量装置的终端中。

UDE-501 集中计量装置是智能变电站系统的多间隔层集中计量单元，作为专用计量电度表的数据参考。该装置可接受符合 IEC6 1850-9-2 的网络化采样值，与站控层的信息交互基于 MMS。该装置具有测量、计量、监视、记录等功能。

UDE-501 最大可满足 16 个间隔的测量及计量需要。每个间隔均具备如下主要功能配置。

1）测量

交流测量使用 MMXU 建模，不同的测量对象采用不同的实例，属于测量 LD。遥测数据以两种方式上送，即变化量越限上送和循环上送。当测量的变化量越限时，立即上送越限的量。循环上送周期可预先设定，默认为 l0s。测量数据包括相电流、相电压、线电压、总有功功率及各相有功功率、总无功功率及各相无功功率、总视在功率及各相视在功率、总功率因数及各相功率因数、频率。

2）电能计算

有功电能计量方式分两种，即单向和双向计量，属于测量 LD。正向有功电能默认为实际正向有功电能。无功电能计量采用双向计量方式，正反向无功电能可由四象限无功电能组合而成。默认的计量模型是正向无功 =1+2 象限，反向无功 =3+4 象限。同时提供四象无功电能的计量。

电能计算采用内置高精度时钟作为分时计费依据。前四种费率默认定义为尖、峰、平、谷，可实现正反有功、正反无功电能分时计费。

3）最大需量

测量正反有功、正反无功最大需量及发生时间，属于测量 LD。需量测量方式采用滑差式。

最大需量周期可在 5、10、15、30、60min 中选择，滑差式需量周期的滑差时间在 1、2、3、5min 中选择。需量周期应为滑差时间的 5 倍及以上。

最大需量复零有三种方式：一是在自动抄表日自动复零，抄表日可设定；二是通过软压板复零，软件上有密码保护；三是在每月的首日自功复零。

当发生电压线路上电、费率转换、清零、时钟调整等情况时，电能表从当前时刻开始，按照需量周期进行需量测量，当第一个需量周期完成后，按滑差间隔开始最大需量记录。在一个不完整的需量周期内，不做最大需量记录。

UDE-501 集中计量装置可通过配置软件配置用户需要的主接线图。主界面可以显示功率测量值等。

7. 远动通信装置

UDD-501 远动通信装置用于收集全站测控单元、继电保护等符合 IEC 61850 标准智能电子设备的信息，并向调度端和集控站传送；同时接收调度端和集控站的控制命令，并向变电站智能设备转发。

该装置独立于后台监控系统，互不影响；可采用单机模式，也可采用双机热备模式，110kV 配电变采用双机热备模式，以确保通信正常。

UDD-501 远动通信装置对信息可采用“直采直送”方式，亦可进行各种算术或逻辑运算。

作为调度、集控站和变电站自动化系统的中转站，远动通信装置对整个电网的稳定运行起重要的作用，尤其在无人值守的变电站中作用更显突出。

8. 规约转换器

UDN-501 规约转换器用于多种测控装置、继电保护等智能电子设备与当地监控、远方通信和故障信息等系统通信。UDN-501 转换传统规约的遥信、遥测、电度量和故障等信息为 IEC6 1850 标准并上送；同时，完成主站控制命令的下行转换和发送功能。

UDN-501 以间隔为单位接入传统规约的智能电子设备，以便进行规约转换和信息的预处理。可将继电保护上送的扰动数据、非 COMTRADE 标准的录波文件转换为标准的 COMTRADE 文件，并对本间隔历史数据做适量存储。

4.3.3 智能变电站综合物联系统

1. 监控系统

按照全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化的基本要求，智能变电站一体化监控系统通过系统集成优化，实现全站信息的统一接入、统一存储和统一展示，实现运行监视、操作与控制、综合信息分析与智能告警、运行管理和辅助应用等功能。

1）监控系统硬件部分

下面介绍硬件装置功能及配置。

（1）通信管理单元协调各设备与监控端的数据和命令交互，接收后台监控或调度的控制命令，并转发给相应的智能设备，完成控制端和间隔层设备的信息交互。

（2）智能合并单元完成模拟量、数字量数据的采集、控制功能。

（3）各保护及自动装置。

（4）工控机监控电脑一台、打印机一台。

2）监控系统软件部分

SUPER 5000 变电站后台监控系统基于 IEC 61850 统一建模，采用分层、分布式的

系统架构，可以跨平台运行，支持“1+N”多机容错、双网冗余 / 分流和双数据库等高可靠性措施，用于 110kV 及以上变电站的当地监控系统。

（1）数据采集子系统。SUPER5000 数据采集子系统完全按照 IEC 61580 标准设计，可实时热插拔接入各种符合 IEC 61850 标准的智能设备，避免传统的对点过程，极大地降低配置工作量。数据采集子系统采集电网实时运行信息和其他装置信息，及时提交给数据处理子系统，经过一系列的数据处理后提交给实时数据库。

① 数据交互，包含遥信、遥测、档位、遥控、保护等信息。

② 可选择生数据、熟数据、计算数据上传或转发。

③ 采集的数据类型有五种。

- 模拟量：有功功率、无功功率、电流、电压、频率及其他测量值。
- 状态量：断路器位置、刀闸位置、事故总信号、预告信号、变压器档位信号、保护动作信号、变电站安防信息、系统工作站的状态信息、报警等。
- 电能量：脉冲量或积分量包含正向有功电量、正向无功电量、反向有功电量、反向无功电量。
- SOE 量：事件顺序记录。
- 保护信息：系统具有对各种保护事件信息的数据采集及解析功能。

④ 显示通道源码。

⑤ 自动监视诊断通道状态、与设备的通信状态。

（2）数据处理子系统。SUPER5000 数据处理子系统是监控系统的基础部分。该部分按 IEC 61850 和 IEC 61970 标准兼容设计，抛弃了传统的采集系统到处理系统的手动对点过程，由程序按照 IEC 61850 和 IEC 61970 模型实现智能对象匹配，自动接收采集系统发送的实时数据，并进行分析处理，为高级应用提供基础支持。数据处理子系统提供五个处理模块。

① 模拟量数据处理

② 状态量数据处理

③ 电能量数据处理

④ 控制量处理

⑤ 计算公式自定义

（3）事项、事故、报警子系统。对电力系统运行状态发生变化、设备运行监视与控制、调度员的操作记录等一切需要引起调度员和运行人员注意的事件均可列入报警处理。提供灵活、方便的手段定义报警发生事件及后续事件，控制报警流向。根据不同需要，将报警分为不同类型，提供画面、音响、语音、图形、确认、打印、短消息等多种报警方式。报警方式、限值可随时在线修改。

事项处理包括以下种类。

① 系统处理设备发送的 SOE 形成事项描述，再发布到整个分布式平台。

② 支持开关变位调图或事故推图。

③ 支持语音告警。

④ 支持事项实时打印（需配置针式打印机）。

⑤ 支持重要事项再确认功能。

智能告警对变电站报警信息进行分类及过滤，对变电站发生的各类异常及故障情况进行分析、推理，并对现象做出合理表述，给出恰当处理建议，以便指导运行人员进行后续操作。

① 计时过滤（延迟报警）：按时间间隔过滤的信号不报警，但需要存储到历史库中，可在将来被检索到。延迟报警时间的范围应当在 ms 到 s 之间。

② 计次过滤：某些信号在过去 24 小时内的动作在设定的次数以下时，可能不报警；但当动作次数超过设定的次数时，就报警了。当信号报警时，采用压缩显示方式，可以快速查询到过去 24 小时内的所有动作。

③ 信号合并的处理：为避免过多信号分散或干扰运行人员，对同一设备的同类型信号进行合并，不同电压等级设备的信号不合并。

④ 信号动态调整报警等级：如果某些信号频繁产生，可降低其报警等级。如果信号的产生次数小于限值，可提升其优先级。

事故追忆子系统是监控系统事故处理反应的一个主要应用模块，能将事故前后一段时间内的全站数据按配置保存，并能进行重演，供分析人员分析事故、模拟事故状态使用，也可作培训素材使用。

① 可由定义的事故源起动，也可由调度员人工起动。

② 可通过单线路、网络图、曲线、图表等形式再现 PDR 数据。

③ PDR 具备重演及局部重演功能，重演时具有事故发生时的重要特征，如开关的状态、遥测是否越限等。

④ PDR 数据可分类检索、显示。

⑤ 调度员可通过任意一台工作站进行事故重演。

⑥ 调度员可设定选定时段的任意时刻作为重演的起始时间，进行重演。

⑦ 调度员可随时暂停正在进行的事故重演，可继续进行；也可重新选定一个时段的电力系统状态作为新的重演对象，重新设定起始时间进行重演。

系统对时：支持 SNTP（简单网络时间协议）、IEC 61588 方式对时。

（4）定值管理。这实现了对装置的定值查看、定值区切换的功能。

（5）人机界面功能。通过人机界面可以显示一次接线图，并能同时显示各种实时数据，也可以用曲线方式查看历史数据。

人机界面提供多种调图方法：正常打开图形、热键调图、索引调图、热点调图、前一视图、后一视图等。

画面显示系统提供控制功能（遥控、遥调、人工置数、顺序控制、检同期、检无压等）的人机界面操作接口，用户可以方便地实现各种控制操作。

（6）操作票功能。智能操作票系统是在现场电力系统安全运行经验的基础上汲取

了行业内先进的设计思想研发出来的。该系统可以通过图形操作、人机对话方式快速、正确、规范地生成符合电力用户现场要求的操作票，是将人的主观思维与计算机人工智能相结合的产物，既可大幅度提高开票的效率和质量，也可有效避免应用计算机自动开票后运行人员开票能力弱化的问题；可将运行人员从繁重的手工开票工作中解脱出来，显著缩短倒闸操作所需时间，提高电网转换速度；具有技术先进、安全可靠、功能完善等特点。

下面介绍操作票系统提供的主要功能。

① 操作票生成：具有单步生成操作票功能和典型操作票开票功能；全图形开票方式可以实现每个操作均由鼠标双击完成，系统根据智能判别建立完整无误的操作规则，正确处理各设备相互之间的闭锁关系，可彻底保障操作的安全性。

② 操作票自动生成：具有自动生成不同主接线和不同运行方式下典型操作流程的功能。

③ 操作票预演：预演时使用实时数据，保证了操作票预演的有效性；可以选择自动预演和手动预演。自动预演在不需人工干预的情况下逐步预演，每步的执行效果直观地呈现在界面上以供操作人员核对；手动预演在系统提示下由用户手动执行，然后由系统判别操作正确性并给出提示，让操作员熟悉操作步骤并进一步核对操作合理性。

④ 操作票管理：系统记录所有类型操作票的票名、开票时间、执行时间、开票人、执行人、监护人、执行情况等，并提供相应的查询、统计、制表打印功能；除了常规操作票以外，系统还提供了“顺控操作票”的管理功能，包括增删修改和多任务拟合功能。

⑤ 系统维护：系统提供的一系列工具可用于术语维护、运行方式维护、参数和配置项维护、操作票打印模板维护等。从开票过程中的术语表达到最后打印出来的票面格式，有诸多配置项可以定制，确保开出的票能符合要求。

（7）顺序控制。要实现变电站无人值班的自动化控制，程序化控制是必不可少的一步。变电站程序化控制称为顺控，是指按照操作票的顺序通过计算机系统下达任务，由计算机系统独立地按顺序步骤自动完成相关设备运行的操作，无须人工参与，真正实现“一键操作”。变电站内的这种顺序控制一方面提高了工作效率，另一方面减少了因人为操作导致的误操作，所以不仅提高了变电站操作可靠性，而且保证了人员的安全。

顺序控制是监控系统按预先设置的程序自动完成对变电站设备的一组命令操作。在执行过程中，系统自动监测设备的遥测、遥信变化以判断每项操作指令的操作条件和完成结果，最终完成操作任务。

用操作票系统开出顺控操作票后，操作员界面调用和执行顺控操作票。顺控操作支持“半自动”方式，即每步操作结束后，如果成功，可以是自动执行下一步，也可以经人工确认后再执行下一步，这实现了以间隔层装置为核心的分布式顺序控制。

（8）防误功能。系统实现了一体化五防功能，将原来需要专用第三方厂商的五防系统来实现的防误功能集成在以监控系统为基础的一套系统中，从而简化了防误装置构成，提高了可靠性。

一体化五防不仅能实时监测锁具的状态，而且能实时监测被闭锁设备的状态（如手动刀闸、临时接地线、网门等）。这些设备的每一次状态变化都能被就地合并单元通过IEC 61850标准通信协议实时传回监控中心的五防子系统，使系统在每一次模拟预演前，都能准确地获得锁具和设备的实际状态，从而保证了模拟状态和设备的实际状态相一致，这就大大提高了操作的安全性。

防误功能实现了智能五防，将设备拓扑连接关系与基本的五防规则结合起来实现设备间的操作闭锁，取代传统的闭锁逻辑的编写和计算工作。它不依赖于人工定义，在保证安全性的前提下具备良好的通用性和免维护性。

（9）历史数据。历史数据主要存储在关系型数据库服务器中。历史数据存储模块定时采集实时数据库和应用数据库的数据，进行统计、累计、积分等处理后，存储到数据库中，保存的数据可用报表和画面显示。

① 可定义任何一个数据点的存储周期。

② 可在线修改存储周期。

③ 支持多种数据类型和统计类型的存储。

④ 丰富的检索浏览机制（所见即所得报表、曲线等）。

⑤ 历史数据可在历史数据维护界面修改。

⑥ 历史数据可按月份备份到本地。

⑦ 可导入本地数据至系统数据库。

3）辅助运行操作方法

下面介绍有关切换开关的操作。

（1）调度端（监控中心）欲进行遥控操作时，必须将公用屏上的“远方 / 就地”遥控总开关切至“远方”位置，同时将欲操作的设备上的“遥控 / 就地”开关切至“遥控”位置，否则不能操作。

（2）若在本变监控电脑上进行操作，则必须将公用屏上的“远方 / 就地”遥控总开关切至“就地”位置，同时将欲操作的设备上的“遥控 / 就地”开关切至“遥控”位置，否则不能操作。

（3）若在开关柜前就地操作，则必须将公用屏上的“远方 / 就地”遥控总开关切至“就地”位置，同时将欲操作的设备上的“遥控 / 就地”开关切至“就地”位置，否则不能操作。

（4）备用电源自动装置的投入需将保护屏上的备自投开关手把投至“投入”位置。当该手把投至“退出”位置时，备用电源自动装置退出并告警，且该告警信号不可恢复（指示灯一直亮）。

保护软压板的操作可直接在监控计算机上完成。

① 在监控计算机上单击设备命名，进入保护信息图。

② 单击欲投退的保护软压板，弹出“密码”对话框。

③ 选择操作员并输入正确密码，单击“确定”按钮。

④ 在弹出的对话框中先核对设备命名和操作内容，并单击“遥控选择”按钮。

⑤ 在弹出的对话框中单击“遥控”按钮。

⑥ 稍等即可看到操作结果；若较长时间无返回信息，或最后返回“遥控超时，选择失败”，则检查有关切换开关是否处于正确位置，然后重新操作。

主变差动保护应定期检查差流正常，及在投入差动保护出口压板前，应检查差流正常。

4）运行维护及故障处理

除系统管理员及专业技术人员外，其他人员严禁改动电脑里的任何文件、程序；严禁私自往计算机里装入任何文件、程序，以防系统瘫痪或软件故障。

当微机出现故障或死机时，可退出运行程序，关机并重新启动，再进行操作。若经检查，确系软件故障，不能正常运行，可先在备份的软件上运行；然后汇报调度，请有关专业人员，修复软件。

巡视时应检查监控系统、远动机、ERTU、网络设备等运行工况是否正常；每月对工控机的防尘网进行清扫。

2. 交直流控制电源一体化系统

1）系统特点

交直流控制电源一体化是指把直流操作电源、电力用交流不间断电源（电力专用UPS 和 INV）、通信用直流变换电源（DC-DC）组合为一体，共享直流操作电源的蓄电池组和监控装置，实现集中供电并统一监控的成套电源设备。

以直流操作电源为核心，直流操作电源与电力专用 UPS、INV 和通信 DC-DC 中任一种及一种以上电源构成的组合体，均称为一体化电源设备。

对于 110kV 及以下的变电站，由于交流站用电负荷的容量较小，可将交流站用电屏与直流电源屏幕组合，并通过集中监控装置实现对站用电进出线和母线的全参数监控，满足全站交直流控制电源的一体化监控管理。

2）交流站用电源系统配置方案

110kV 变电站一般采用两台自动转换开关设备、两路交流站用电源进线、两段单母线接线。系统主要包括直流操作电源、监控系统结构两部分。

（1）系统构成原理。直流操作电源系统由交流配电单元、高频整流模块、蓄电池组、硅堆降压单元、绝缘监测装置、电池巡检装置、配电监测单元和集中监控模块等部分组成。交流输入电源正常时，通过交流配电单元给各整流模块供电。整流模块将交流电变换为直流电，经保护电器（熔断器或断路器）输出，一方面给蓄电池组充电，另一方面经直流馈电单元给直流负荷提供正常的工作电源。当交流输入电源故障停电时，整流模块停止工作，由蓄电池组不间断给直流负荷供电。

（2）交流配电单元。交流配电单元实现由站用电交流输出到整流器模块的电源分配和保护。对于单母线接线的交流站用电源，整流器的交流电源进线按一路配置；对于两段单母线接线的交流站用电源，整流器的交流电源进线按两路配置，两路交流电源分

别取自交流站用电源的两段母线，采用自动转换开关设备（PC 级 ATSE）实现两路电源进线的备用切换控制。

（3）高频整流模块。高频整流模块采用 N+1 并联冗余方式供电，即在 N 个充电模块满足电池组的充电电流和经常性负荷电流的基础上，增加一个热备用充电模块。

（4）硅堆降压装置。对于阀控铅酸蓄电池直流系统，充电装置对电池组的充电电压将超过直流控制母线允许的变化范围（标称电压值的 87.5% ～ 110%），因此在充电装置、蓄电池组与直流控制母线之间需要串联一个降压装置，把控制直流母线的电压稳定在规定的范围内。

（5）控制保护单元。

① ZTY20 硅堆调压控制单元采用单片机电路，实时监测直流控制母线的电压，并与设定值进行比较，再根据比较结果，控制硅堆的投入节数，以保证直流控制母线的电压在规定的范围内。

② ZTY20 硅堆调压控制单元实时监测降压硅堆各节的电压降。当投入线路中的某一节硅堆出现开路时，调压控制单元自动闭锁与该节硅堆并联的继电器，使该节硅堆被短接旁路，以保证直流控制母线不间断供电。

（6）绝缘监测装置。绝缘监测装置用于在线监测直流控制母线和馈电支路的绝缘状况。当某一点出现接地故障时，装置立即发出告警信号，提醒运行人员查找并排除接地故障，从而杜绝直流系统接地故障可能引发的电力事故。

根据用户的不同使用要求，绝缘监测装置可以配置基本型或支路巡检型。基本型只有母线绝缘监测功能；支路巡检型除了有母线绝缘监测功能，还有直流馈电支路绝缘巡检功能。

（7）电池巡检装置。电池巡检装置用于实时在线监测电池组各单节电池的电压和内阻。该装置通过一体化监控装置记录分析不同工况下各单节电池的电压和内阻，并及时发现落后或异常电池，给蓄电池维护提供重要的参考依据，以确保蓄电池组安全运行。

电压型电池巡检装置是采用光继电器开关对蓄电池组每节电池的端电压进行采集，通过 A/D 转换电路将电压信号转换为数字信号以供 CPU 读取，最后通过 RS485 串口将处理后的信息上传到电源监控装置，进行数据分析和判断。

（8）交流不间断电源。电力专用交流不间断电源包括电力专用 UPS 和 INV 两类。电力用 INV 适用于“后备”运行模式，主要为变电站的事故照明等对电源的质量要求不高的负荷供电；而电力专用 UPS 适用于“在线”运行模式，主要为变电站的计算机监控等对电源质量要求很高的重要负荷供电。

变电站的事故照明负荷如果采用电力专用 INV 装置，一般只配置一台即可满足要求：而电力专用 UPS 的配置提供三种方案，即一台 UPS 装置、自带旁路、单母线接线。

（9）一体化电源监控系统。电源监控系统通过遥测、遥信、遥控、遥调及设备状态监视、历史数据分析等高级功能，对一体化电源系统进行分散数据采集、控制和集中监控管理。

3）监控系统结构

一体化电源监控系统采用现场以 Modbus 总线为基础，远方以变电站自动化网络为基本网络平台的分层分布式系统结构。现场的各智能设备通过 Modbus 总线与电源监控装置连接；电源监控装置通过 RS-485、以太网等通信方式与变电站的自动化系统连接；最后通过变电站的集中监控维护系统实现对一体化电源系统的远程维护管理。一体化电源监控系统图如图 4-23 所示。

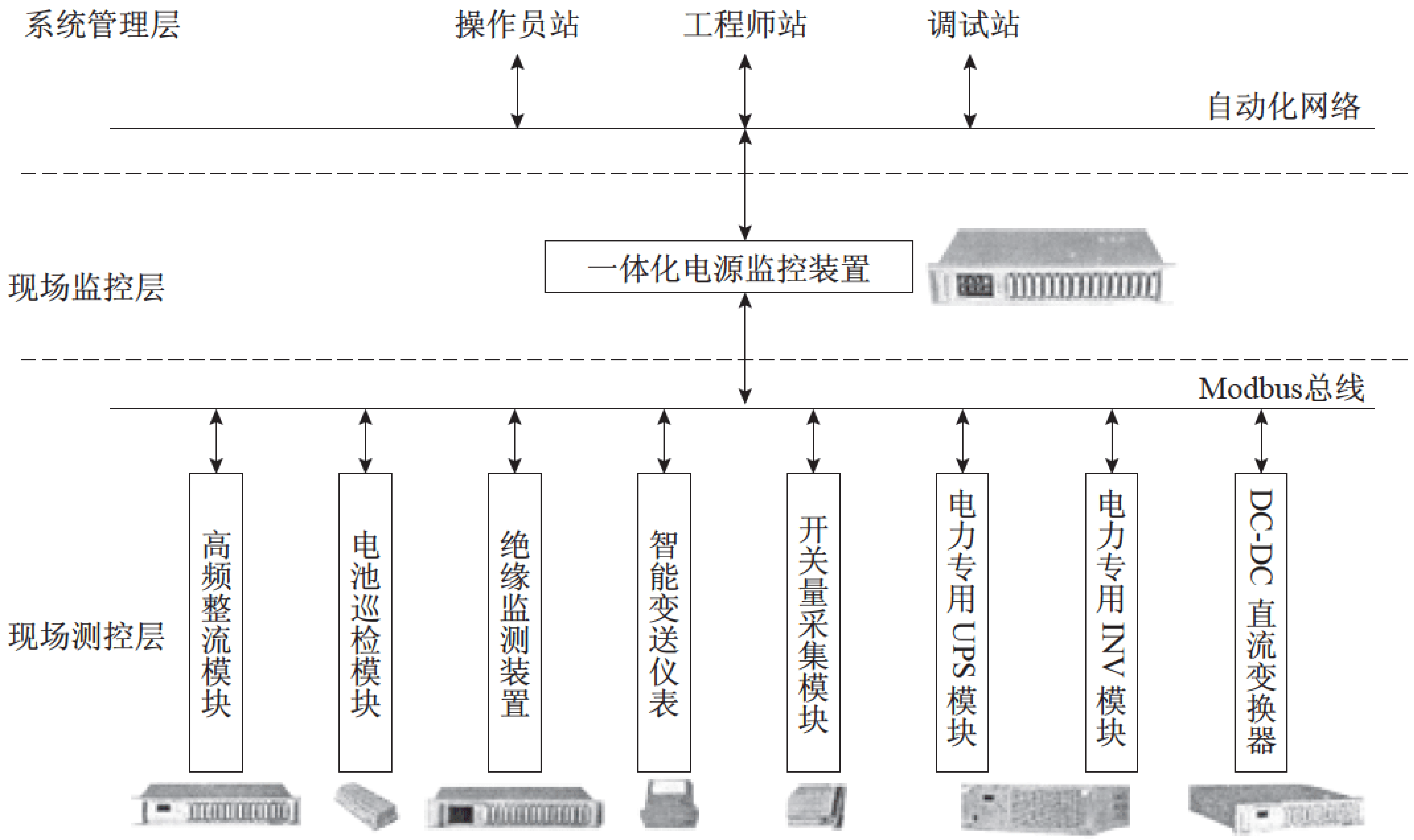


图 4-23 一体化电源监控系统图

一体化电源监控系统由三部分组成。

（1）系统管理层：通过变电站监控系统的计算机和后台维护管理软件，实现对电源系统的一体化管理功能。

（2）现场监控层：通过一体化监控装置收集现场测控层各智能设备的采集数据进行显示、告警处理，并根据处理判断，再发出各种控制命令；同时进行通信协议转换，实现与变电站监控的数据通信传输，接收并下达上位机的命令。

（3）现场测控层：通过现场各智能设备的测控电路，实时采集一体化电源系统各功能单元的数据，并执行现场监控层的命令。

一体化电源监控系统采用分散测量和控制、集中管理的集散模式。这种设计思想使系统组合扩容方便、灵活，并可减少监控系统引入的故障因素。

第 5 章

输电线路物联网感知工程技术与应用

输电线路物联网感知技术基本概念、电力系统基本概念及主要特点、输电线路运检故障分析与防治方法、物联网 LoRa 通信技术设计、物联网输电线路在线监测技术设计、物联网与云平台技术设计、输电线路物联网感知技术研究与案例分析是本章重点介绍的主要内容。

5.1　输电线路物联网感知技术基础知识

输电线路物联网感知技术基本概念、国内外输电线路物联网感知技术发展综述、电力系统基本概念及主要特点、输电线路运检故障分析与防治方法是本节介绍的主要内容。

5.1.1　输电线路物联网感知技术基本概念

1. 输电线路物联网感知技术概念

能源是现代化的基础和动力，能源供应和安全事关我国现代化建设全局。保障能源供应安全，解决我国能源分布严重不均问题，对经济发展具有重要作用。电网具有输电距离远、容量大、效率高、损耗低、占地省、安全性好的特点，能够实现数千公里、千万千瓦级电力输送和跨国、跨洲电网互联。以特高压为骨干网架的全球能源互联网能够实现清洁发展、促进经济增长和世界和平发展。

输电线路所经之处地形分布复杂，人工巡视困难，线路设备易遭受高温、狂风、暴雨、冰雪等外力破坏，所以线路隐患发现和风险监控的难度很大。目前，220kV 及以上输电线路已达数十万公里，线路沿线环境日趋复杂，外力破坏、线路覆冰等事故不断发生，输电线路的巡视维护工作量越来越大。为了提高输电线路巡视效率、减少输电线路故障缺陷查找时间，结合输电线路工况特点，建立数据采集终端对线路周边及环境参数进行全天候、全工况实时监测的系统非常必要。

目前，监测装置通信多基于 2G、3G、4G、5G 协议，有赖于网络通信商的服务质量和通信基站布点，在特高压输电线路走廊存在信号差、覆盖范围小、信息安全度低的问题。电力线载波技术多用于低压线路，在大电压大电流上应用电力线载波通信还没有实现。

近年来，物联网需求不断发展，物联网技术不再满足于使用短距离通信，正在向远距离通信发展。低功耗广域网（Low Power Wide Area Network，LPWAN）技术在这一背景下应运而生。LPWAN 技术目前有两大类：一类是运营商基于现有基站和授权频谱资源建立的窄带物联网（NB-IoT），覆盖范围广，可为多种行业应用提供服务；另一类

是用户自行建立的专用网络（Long Range，LoRa），这是一种基于扩频技术的超远距离无线传输方案，可工作于免授权频段，具有搭建网络灵活、快速等特点。

2. 输电线路物联网感知技术存在的问题

现有的输电线路在线监测装置在线路运行监测中发挥了一些作用，但实际运行中也存在一些问题。2016 年，国家电网公司初步统计的输电线路在线监测产品的故障比例高达 32%，在线监测装置在可靠性、使用寿命、准确性方面与实际需求尚存一定差距。

1）现有监测设备体积偏大、集成度低

覆冰、舞动等指标需要多个参数综合评价得出。使用多个监测设备导致安装、维护的工作量大。

2）偏远地区公网信号差

现有在线监测系统一般采用无线公网将监测数据传到系统后台。输电线路走廊多数处于边远山区及特殊地段，因无线公网信号弱而影响了使用效果。此外，为提高安全性，采用公网时公司需要租用 APN 通道，OPGW 光纤通道却没有得到充分利用。

3）在线监测数据质量不高问题

由于传感器本身的问题，还有干扰、维护等问题，在线监测装置采集的数据质量不高，缺乏前端数据处理，因此大量异常数据接入后台系统，导致运维人员对在线监测可信度降低。

4）在线监测参量单一

目前，系统内认可度最高、最常用的在线监测是图片和视频监测，使用的设备为摄像头、卡片机、防山火装置等，这些均为单一的监测装置，无法满足运维人员实时获取全方位多参量线路及杆塔状态信息的需求。

5）东北极寒地区监测装置供电困难

输电线路监测装置多利用太阳能电池板供电，而监测装置功耗降低困难，所以太阳能板与蓄电池组成的供电系统尺寸大，导致上塔安装工作量大。此外，在东北地区最高气温可达 35.1 ～ 41.7℃，极端最低气温可达 −50.2 ～ −27.3℃的气候环境中，电池容量衰减严重，给监测装置的稳定运行带来极大挑战。

6）缺乏统一监控平台

国网公司统一部署了输变电状态监控平台，但由于后期监测项目的扩充，以及防山火等数据通过外网接入，因此后台展示界面不规范，各厂家监控软件相互独立，不利于开展整体运维监控和分析。

输电线路的气象、倾斜、距离、温度、电流、电阻等参数具有缓慢变化、字节少的特点，通过合理确定参数采样周期，并以 LoRa 扩频技术组成电力物联网，降低传感器使用功耗，可大幅延长监测装置使用寿命，并能实时感知输电线路的引流板温度、杆塔倾斜、弧垂及交跨、微气象、接地电阻、泄漏电流等各类参数，真正实现输电线路运行状况的多参量物联感知，可为设备安全、稳定、长周期、全性能的优质运行提供可靠的技术和管理

保障，大幅减少和替代运维人员的巡检工作，为建设真正意义上的智能化线路提供重要支撑。

3. 输电线路物联网感知技术应用前景

1）多参量传感融合技术使产品成本大幅下降，产生直接经济效益

小型化的产品可嵌入各类传感器，以扩展传感网络，实现多参量监测，节省设备材料成本；同时以 LoRa 扩频技术组成电力物联网，采用低功耗技术，可降低传感器使用功耗，大幅延长输电线路状态监测装置使用寿命，可节省设备的更换成本。截至 2016 年，全国已应用输电线路在线监测装置上万套，可节省材料成本上亿元。

2）电力通信专网接入方式可降低通信费用支出，提高网络安全性

采用 LoRa+OPGW 光纤专网的组网方案，通过电力通信专网接入状态检测平台，可节省原方式采用的 3G/4G 公网通信费用支出，每年可节省公网租赁费 2000 万元以上。同时，这种通信组网方式可解决无线公网在特高压线路走廊存在信号差、覆盖范围小和信息安全度低的问题，通信网络的安全、可靠性得到保障。

3）小型化、集成化使得施工成本减少，产生间接经济效益

系列小型化、集成化 LoRa 嵌入式传感监测装置包括气象、倾斜、温度、弧垂、电流、电阻、距离等参量。一次施工即可完成原方式的多次传感器的安装，可极大节省施工费用，减少成本，具有相对经济优势。

4）增强电网企业敢于担当的责任意识

LoRa 技术已在电力行业应用于智能抄表、库房盘点等环节，但在特高压输电线路中尚未应用。攻克 LoRa 技术在长距离、低功耗、长寿命和抗电磁干扰等方面的多项具体应用问题，将使得 LoRa 等物联网技术在智慧城市、工业自动化、智能家居等方面得到更好的普及，造福人类生活。

5.1.2　国内外输电线路物联网感知技术发展综述

1. LoRa 通信技术

2013 年 8 月，美国升特公司（Semtech）向业界发布了一种新型的 Sub-1 GHz 频段的扩频通信芯片。这款芯片的最高接收灵敏度可达 −148dBm，主攻远距离低功耗的物联网无线通信市场，主要用于全球各地的 ISM 免费频段（即非授权频段），包括 433、470、868、915MHz 等。与其他传统的 Sub-1 GHz 芯片相比，LoRa 芯片最高接收灵敏度提高了 20 ～ 25dB，在应用上体现为传输距离提高 5 ～ 8 倍。

LoRa 技术本质上是扩频调制技术（同时结合了数字信号处理和前向纠错编码技术）。此前，由于扩频调制技术的长通信距离和高鲁棒特性，扩频调制技术在军事和空间通信领域已经应用了几十年。LoRa 技术的意义在于利用扩频技术为工业产品和民用产品提

供低成本的无线通信解决方案。前向纠错编码技术是给待传输数据序列中增加一些冗余信息，数据在传输进程中注入的错误码元在接收端就会被及时纠正。前向纠错编码技术可以减少数据包需要重发的需求，而且在解决由多径衰落引发的突发性误码中表现良好。一旦数据包分组建立起来，并注入前向纠错编码以保障可靠性，这些数据包就将被送到数字扩频调制器中。这一调制器将分组数据包中每一比特时间划分为众多码片，而LoRa 调制码片的可配置范围为 64 ～ 4096 码片。通过使用高扩频因子，LoRa 可将小容量数据通过大范围的无线电频谱传输出去。当用户通过频谱分析仪测量时，这些数据看上去像噪音，但区别在于噪音是不相关的，而数据具有相关性。基于这点，数据可以从噪音中提取出来。扩频因子越高，越多的数据可从噪音中提取出来，接收灵敏度就可以达到更高。因此 LoRa 芯片的接收灵敏度最高可达 -148dBm，在 20dBm 的发射功率下，LoRa 调制的链路预算可达 168dB。

LoRa 联盟是 2015 年 3 月由 Semtech 牵头成立的一个开放的、非盈利的组织，发起成员还有法国的 Actility、中国的 AUGTEK 和荷兰皇家电信 kpn 等企业。不到一年时间，联盟已经发展成员公司 150 余家，其中不乏 IBM、思科、法国的 Orange 等重量级企业。产业链（终端硬件厂商、芯片厂商、模块网关厂商、软件厂商、系统集成商、网络运营商）中的每一环均有大量的企业，这种技术的开放性、竞争与合作的充分性都促使了 LoRa 的快速发展与生态繁盛。

LoRa 联盟发布的 LoRaWAN 协议将 LPWAN 分成了三部分，包括节点应用、通信服务（模组和基站供应商）和云服务。数据传输过程中的通信层包括两级加密，数据通信更为安全。截至 2016 年 10 月，联盟成员数量高达 400 多家，其中国家级的运营商有 27 家，新增运营商有法国的 Proximus、英国的 Orange、美国的 Comcast、日本的软银、韩国的 SK 电信、印度的 TATA 电信等。同时，LoRa 的产业链中包括大量终端硬件厂商、模块网关厂商、软件厂商、系统集成商等，构成了完整的 LoRa 生态系统，大大促进了 LoRa 技术的快速发展与生态繁盛。

国内对 LoRa 技术的理解和应用范围逐渐扩大，处于从点对点通信向大规模组网运营转变的阶段，这也正是 LoRaWAN 的优势所在。因其灵活部署和门槛不高，在国内有大量企业参与应用开拓，不但有新华三、中兴克拉、鹏博士、上海广电等行业领军企业的支持，也有唯传科技、Sensoro 等新锐创业企业的投入，更有不计其数的各类模块、终端、应用企业的推进。

2. 输电线路在线监测技术

输电线路在线监测通过在杆塔和线路上安装不同种类的传感装置，准确记录输电线路运行的状态参数与特征向量，这是实现在线实时状态监测及状态检修的重要手段。智能监测技术的成功与否在很大程度上将决定状态检修能否顺利实现。

欧美国家从 2004 年开始，先后就无线传感器网络技术在电力系统一些领域的应用展开了深入研究，如国家能源基础设施安全保障、输配架空线路的监测和管理、地埋电

缆监测、线路故障定位及保护、变电站设备监测、低压台区监测及户表数据采集等。其中，美国电科院投入的研究较多，并取得了初步成绩。美新半导体最早推广了无线传感器网络在电力系统中的应用，并积累了宝贵的经验。美新半导体与国家电网电力建筑研究院合作将无线传感器网络应用于高压输电线的监测。由于无线传感器网络的良好特性，节点可以部署于恶劣环境下，能够在较长时间里高效率地捕捉有用信息，这使得繁琐的人工检查和维护工作得以避免，使用有线监控带来的高成本也随之避免；此外，无线传感器网络技术还能够获得实时的连续监控，以便得到长时间的监控和快速的反应。国家电力建设研究所目前已将美新半导体公司的无线传感器网络系列产品用于监测大跨距输电线路的应力、温度和振动等参数。

美国是最早对输电线路开展智能监测工作的，而欧洲很多国家也采用该技术进行状态检修。国外的统计资料显示，一般在对输电线路和输电设备实施状态检修之后，可使设备的大修周期从 3 ～ 5 年延长到 6 ～ 8 年，最长能够到达 10 年，并且在两年内就可以收回对检测技术与状态检修的投入成本。从整体来说，国外在输电线路智能状态检修技术研究与实践应用方面都已取得了显著的成就。根据美国电力研究院输电线路诊断检修中心的统计数据显示，实施状态检修可以提高设备利用率达 5% 以上，并可节约检修费用 25% ～ 30%，效果相当明显。

相对于国外发达国家，我国的输电线路在线状态检修与应用起步较晚，经过多年的向国外学习和自己的研究与创新，我国输电线路在线状态检修技术取得了很多研究成果。早在 20 世纪 50 年代初，我国就已经在发电厂和电力公司广泛推行了定期对输电线路进行详细检修的制度，这种输电线路定期检修制度是以时间周期为基础的。由于所采用的检修周期和检修项目都是以传统经验为主，因此这种检修方式的科学性不足，比如对众多设备仪器的工作质量、性能状态、运行状态及其之间差异的考虑不够全面，日常工作过于死板教条，设备及仪器检修周期过短，设备经常停电，每次用于检修的花费太高，检修工作量太大，供电可靠性过低等，这都成为了阻碍电网发展的屏障。

5.1.3　电力系统基本概念及主要特点

1. 电力系统的概念、特点、运行要求

电能是现代社会中最重要，也是最方便的能源。电能具有许多优点，它可以方便地转化为别种形式的能，如机械能、热能、光能、化学能等；它的输送和分配易于实现；它的应用模式也很灵活。因此，电能被极其广泛地应用于农业、交通运输业、商业贸易、通信。以电作为动力，可以促进工农业生产的机械化和自动化，保证产品质量，大幅度提高劳动生产率。发电厂、输电网、配电网和用电设备连接起来组成一个整体，称为电力系统。电力系统与其他工业系统相比有着明显的特点，主要有以下几个方面。

（1）结构复杂而庞大。一个现代化的大型电力系统装机容量可达千万千瓦。世界

上最大的电力系统装机容量达几亿千瓦，供电距离达几千公里。电力系统中各发电厂内的发电机、各变电站中的母线和变压器、各用户的用电设备等，通过许多条不同电压等级的电力线路结成一个网状结构，不仅结构十分复杂，而且覆盖辽阔的地理区域。

（2）电能不能存储。电能的生产、输送、分配和消费实际上是同时进行的。在电力系统中，发电厂在任何时刻发出的功率必须等于该时刻用电设备所需的功率、输送和分配环节中的功率损失之和。

（3）电力系统的暂态过程非常短促。电力系统从一种运行状态到另一种运行状态的过渡极为迅速。

（4）电力系统特别重要。电力系统与国民经济的各部门及人民的日常生活有着极为密切的关系，供电的突然中断会带来严重的后果。

2. 电力系统运行的基本要求

（1）保证安全可靠的供电。供电中断会使生产停顿、生活混乱，甚至危及人身和设备安全，造成十分严重的后果。停电给国民经济造成的损失远超过电力系统本身的损失。因此电力系统运行的首要任务是安全可靠地向用户供电。

（2）要有合乎要求的电能质量。电能质量以电压、频率以及正弦交流电的波形来衡量。电压和频率过多地偏离额定值对电力用户和电力系统本身都会造成不良影响。这些影响轻则使电能减产或产生废品，严重时可造成设备损坏或危及电力系统的安全运行。

（3）要有良好的经济性。合理分配每座电厂所承担的负荷和调度电力系统潮流，会降低生产每一度电所消耗的能源、电能输送的损耗，从而提高电力系统运行的经济性。

（4）尽可能减小对生态环境的有害影响。电力工业发展的各个方面都会或多或少地对生态环境产生不同程度的损害，有时甚至会造成无法逆转的伤害。为了保护人类赖以生存的大自然，无论在建设发电厂、建设电网，还是发电所，要尽可能减少对环境的伤害。

3. 电网的基本概念

电力系统中输送和分配电能的部分称为电网。电网是电能传输的载体，它包括升、降压变压器和各种电压等级的输电线路。电网是电能传输的载体，在发电厂发出电能后，如何将电能高效地传送给用户，就成为电网的主要功能。输电功能就是将发电厂发出的电力输送到消费电能的地区，或进行相邻电网之间的电力互送，使其形成互联电网或统一电网，保持发电和用电或两电网之间的供需平衡。输电功能由升压变压器、降压变压器及其相连的输电线完成。所有输变电设备连接起来构成输电网。输电网和配电网统称为电网。发电厂、输电网、配电网和用电设备连接起来组成一个整体，称为电力系统。输电网由输电和变电设备构成。输电设备主要有输电线路、杆塔、绝缘子串等。变电设备有变压器、电抗器、电容器、断路器、接地开关、避雷器、电压互感器、电流互感器、母线等一次设备和继电保护、监视控制装置、电力通信系统等二次设备。输电网一次设

备和相关的二次设备的协调配合，是实现电力系统安全稳定运行，避免连锁事故发生，防止大面积停电的重要保证。

5.1.4 输电线路运检故障分析与防治方法

1. 输电线路基本概念

从结构形式来看，输电线路分为电缆输电线路和架空输电线路两种。

1）电缆输电线路

电缆组成成分有绝缘层、保护层、导线，分三芯、双芯和单芯电缆，并且都埋藏于地下。

电缆输电线路优点是电缆都埋藏地下，不用电杆，施工时会大大节省钢材、水泥和木材，也有效节省了地面空间。在电缆传输供电时不仅安全可靠，而且运行维护也非常简单，不易因自然环境的影响而被腐蚀或损坏，从而有效地节省了维护的费用。

与架空输电线路相比，电缆工程造价较高，而且在铺设线路时，电缆不易分支，接头技术较为复杂。当电缆线路损坏时，故障原因不易被发现，导致不能及时排除故障，也就是说，维修和查找故障的时间会比较长，会给用户用电带来不便。

2）架空输电线路

架空线路是利用绝缘子将输电导线稳固在地面杆塔上传输电能的输电线路。架空输电线路是由拉线、导线、线路杆塔、架空地线、接地装置和绝缘子串等部分组成，其架设在地面之上。

与地下输电线路相比，架空线路施工周期短，成本也比较低，同时便于维护、检修等施工。因此，架空输电线路成为电力传输技术的主要输电方式。

在架空输电线路维护、运行和设计过程中，人为和自然因素会对其造成影响。由于架空电路暴露于大气环境中，洪水、冰冻、大雪、强风暴以及气温变化等因素都会对电力传输造成直接影响，因此，架空施工线路一定要有与所处环境相适应的施工强度。同时，工业污染、雨水、湿雾以及雷电等会破坏架空线路的绝缘强度，从而导致停电等事故的发生。

2. 输电线路异常故障产生的因素

输电线路大多裸露在空气中，受恶劣的自然环境影响，会产生各类故障。如雷雨天的雷击现象和闪络现象、冬天的覆冰危害、天空中的鸟害（鸟粪污闪和粪道闪络）、雾水粘在脏绝缘子上的污闪，还有，因线路自身的拉力造成的应力破坏和因接触不良造成的绝缘子与线路发热烧坏。

1）风灾因素

输电线路大多地处地形复杂处，线路长，如果周边绿化不好，没有森林遮挡御风，那么很容易被自然界的大风吹坏，造成输电线路的风偏闪络。这种故障可以说是线路故障的易发形式，对电力系统的正常供电危害相当大，而且一旦发生故障，会造成风偏跳

闸，引起大面积停电。强大的风源甚至会波及低压电杆，破坏电杆之间力的平衡。因强风的作用而使电杆倒塌的事故也不占少数。

2）雷电因素

在雷电频发的珠江三角洲地区，一旦到春、夏季，雷电造成的输电线路故障时有发生。引起变电站的跳闸事故的原因就是雷电过电压。例如，在顺德龙江，雷击使佛山龙江 110V 变电站 10kV 型材线折断，造成对地短路，使龙江变电站型材线 10kV 间隔保护跳闸，差点造成线路负载增氧机停运，致使大量鱼缺氧死亡。后在维修队伍的努力下，挽回了经济损失。

3）覆冰因素

输电线路的覆冰造成的线路折断事故虽然很多，且仅发生在冬季，但是从事故的结果可以看出，一旦发生覆冰事故，不但会大面积停电，而且因天寒、工作强度大，维修维护的时间相对较长，不利于维修人员的维修。形成覆冰的原因是天冷且空气潮湿，当结成覆冰时，容易发生线路舞摆闪络事故。

4）污秽的因素

输电线路的污闪事故虽然不是很多，但损害性却不小，还会造成闪络事故。引发此类事故的主要原因是绝缘子表面没有按期除尘，尤其在风雨天，灰尘堆积在绝缘子和线路上，会因造成污秽电离而发生闪络事故。

5）外力破坏因素

外力破坏的形式多种多样，如大风天折断的树木、大片倒在线路上的树木、增加的线路负载。近几年，偷盗运行中的低压线路日益增多，还有频发的交通事故（如铲车司机酒后开车或不小心碰倒电线杆），也是发生这类事故的原因之一。

6）鸟害

落在输电线路上的鸟产生的大量粪便和污秽，粘连在绝缘子和线路上，加上阴湿的天气和山间的雨雾，积累到一定程度时，也会产生闪络现象。在正常的干燥天气中，鸟粪并不会很大程度上降低绝缘子的闪络电压，而在雨雾的天气，鸟粪的电阻变小，加上污秽面积和路径的共同作用，提高了电力线路的电压，增加了鸟粪污闪事故的发生率。

许多鸟长期在低压电杆的绝缘子和横担附近排便，部分空气将与鸟粪接壤，即使没有使鸟粪贯穿全部的通道，也可能会造成粪道闪络现象。

3. 输电线路故障的预防措施

1）保证与提高电气设计质量

提高电气设计的质量，可以最大程度地提高安全性。电气设计是各种电气设备正常工作与否和维护是否方便的重要因素。在输电线路的设计中，如杆塔、导线、绝缘子、辅助金具、防雷装置的计算与选择是很重要的。现在大部分设计人员只会机械地照抄、照搬典型设计与设计规范，没有根据当地情况采取相应的措施。同时，电力线路必须合理设计，才能更好地“行使”它的职责。要想做好线路的设计工作，除了周密的计算外，

现场勘测和线路路径的选择，也是设计的重中之重。需要设计人员亲自到现场细心地观察地形、地貌和线路的路径。这样才能最大程度地避免各种事故的发生，保证输电线路的正常运行。

2）做好防雷措施

防雷接地是各种建筑物都必须做的保护工作之一。对于输电线路来说，防雷工作无疑更加重要，一般选取避雷线来进行输电线路的雷电过电压保护，它是最常用的防雷装置。

同时可以降低杆塔接地电阻，达到防雷的目的。例如，可把接地极埋设得较深一些，也可以选择在地下水比较丰富、水位比较高的地方。在进入变电所的高压侧，通常选用各种阀型避雷器进行防雷保护。例如，在雷电多发的佛山地区，由于设计缺陷，10kV架空线路大部分不设防雷措施，当地雷击停电事故频繁发生，给经济带来了重大损失。此后，新建的和技改的线路，要求每隔一基塔必须安装一组避雷器。实践证明，新建的和技改的电力线路运行稳定，效果很好。

3）杆塔位置与杆型的正确选择

首先应该及时并且认真地调查气候条件和地形，尽量避开在不利的地形和地理位置架设杆塔。其次，应加强杆塔的机械强度，尽量选用钢管杆或加强型的混凝土杆，而且横担可以加厚，或者选用那种不易沾冰结构的绝缘子，并涂上有憎水性能的涂料。

4）污闪的预防

污闪事故的发生数量虽然不多，但影响和危害很大。污闪事故的预防，是提高电力系统供配电安全用电、持续用电的重要工作。通过增加爬距以及采用合成的绝缘子可以有效地防止污闪事故发生；或者使用防污闪涂料限制泄漏电流事故的发生。

5）外力破坏的预防

应该优化电气设计，输电线路尽量不要与树林离得太近，要充分考虑到树木增长速度带来的“危害”。输电线路要与道路保持适当的距离，并根据杆塔的具体位置，增设防护墩，涂上醒目的防护标志。

4. 输电线路检修

1）检修种类

由于输电线路会因环境因素影响而受到损耗或者破坏，因此做好输电线路的检修和维护工作具有重大意义。输电线路检修通常包括大修、计划检修和临时检修。

在输电线路铺设完工以后，需要及时进行输电线路的计划检修，即按照管理部门的相关规定对输电线路检修。输电线路计划检修中包括大修。由于受外界环境影响，输电线路有时会出现缺陷，这就要求主管部门及时排查缺陷并进行临时检修。临时检修的目的是清除并且检修输电线路故障。输电线路运行到一定时间，达到一定的运行寿命时，需要按照检修计划进行大修，以消除和检查其他检修的缺陷为主要内容。

2）检修内容

一般情况下，输电线路检修主要是检修架空线路。其工作重点是停电或者带点时登

杆进行清扫检查，对杆塔与杆塔基础检修以防止倒塌。对拉线进行检修是为了防止因外界损耗而使拉线断开。对地线以及导线进行检修是为了确保电力正常以及安全传输。对金具与绝缘子进行更换与检修是为了稳固拉线与导线。

3）状态检修

由于受区域因素影响，不同地区线路检修形式也有所不同。目前，大多数地区检修线路都以时间为基础，周期性地对输电设备进行检查。由于这种检修方式效率比较差，不够科学，是一种盲目的、原始的检修方式，多适用于科学技术水平低、电力可靠性要求不高以及输电设备比较少的地区。由于受线路分布区域较广、线路过长以及地区环境复杂等因素影响，在检修过程中会遇到各种情况，比如检修任务重等，这就会造成检修人员不能及时处理故障或者处理时出现不安全操作、违规操作，从而大大降低了检修工作质量。因此，周期性的线路检修处于低效状态。一般情况下，输电线路一年一次停电检修。但是由于受其他因素影响，故障发生时间不可预料，因此，很多线路故障得不到及时检修，从而加剧了设备老化，极大地降低了电力输送能力。状态检修是根据物联网技术及时掌握系统设备状态，根据大数据分析及系统存在的问题及时检修。

4）预防措施

输电线路检修对检测手段、维护手段和维修设备的要求比较高。出于资金问题的考虑，不能以牺牲故障设备为代价来积累检修经验或维护输电线路，而应该以科学方法合理地解决故障问题。

（1）选线。输电线路的检修与选择有非常重要的关联性。架设线路时应该选取便于检测、交通便利的线路，以便在线路跳闸或者出现故障后检修部门能够进行检修，及时地排除故障。因此，选取发生故障时对电力传输影响小的线路非常重要。

（2）绝缘子检测。绝缘子检测的主要方法是离线和在线监测，以绝缘电阻检测、绝缘子分布电压检测以及提高电力安全性为主要内容。

（3）雷电检测。由于雷电对输电线路有极大的影响，因此有关部门对输电线路中的雷电参数必须进行认真分析。

（4）金属和导线检测。通过红外线测温对连接金具、导地线等进行测温，有效预防线路损坏，能够在事故发生前采取及时的预防措施。

（5）塔杆检测。对塔杆挠曲、倾斜铁杆腐蚀、拉盘和杆塔基础位移、砼杆裂纹等情况要做出及时处理，以避免由于塔杆损坏造成的线路故障，从而确保电力正常传输。

（6）树木生长对线路的影响。由于季节变化，树木生长规律也不尽相同，这就要求管理人员对周围树木的数量、种类与导线之间的距离做好记录，避免因树木生长而损害电路。

5.2 输电线路物联网感知技术设计

物联网 LoRa 通信技术设计、物联网监测设备智能化技术设计、物联网输电线路在线监测技术设计、物联网与云平台技术设计是本节介绍的主要内容。

5.2.1 物联网 LoRa 通信技术设计

1. LoRa 组件技术

1）节点 / 终端（Node）

LoRa 节点，代表了各类传感应用，在 LoRaWAN 协议里被分为 Class A、Class B 和 Class C 三类不同的工作模式。Class A 工作模式下节点主动上报，平时休眠，只有在固定的窗口期才能接收网关下行数据。Class A 的优势是功耗极低，比非 LoRaWAN 的 LoRa 节点功耗更低。比如，针对水表应用的 10 年以上工作寿命通常就是基于 Class A 实现的。Class B 模式是固定周期时间同步，在固定周期内可以随机确定窗口期接收网关下行数据，兼顾实时性和低功耗，特点是对时间同步要求很高。Class C 模式是常发常收模式，节点不考虑功耗，随时可以接收网关下行数据，实时性最好，适合不考虑功耗或需要大量下行数据控制的应用，如智能电表或智能路灯控制。

2）网关 / 基站（Gateway）

网关是建设 LoRaWAN 网络的关键设备，用于缓解海量节点数据上报所引发的并发冲突。主要特点如下：兼容性强，所有符合 LoRaWAN 协议的应用都可以接入；接入灵活，单网关可接入几十到几万个节点，节点随机入网，数目可延拓；并发性强，网关最少可支持 8 频点，同时随机 8 路数据并发，频点可扩展；可实现全双工通信，上下行并发不冲突，实效性强；灵敏度高，同速率下比非 LoRaWAN 设备的灵敏度更高；网络拓扑简单，星状网络可靠性更高，功耗更低；网络建设成本和运营成本很低。

3）服务器（Server）

服务器负责 LoRaWAN 系统的管理和数据解析，主要的控制指令都由服务器端下达。根据不同的功能，服务器分为网络服务器（Network Server）、应用服务器（Application Server）和客户服务器（Client Server）。网络服务器与网关通信实现 LoRaWAN 数据包的解析及下行数据打包，与应用服务器通信生成网络地址和 ID 等密钥；应用服务器负责负载数据的加密和解密，以及部分密钥的生成；客户服务器是用户开发的基于 B/S 或 C/S 架构的服务器，主要处理具体的应用业务和数据呈现。

2. LoRa 通信协议

与同类技术相比LoRa技术，提供更远的通信距离。由于LoRa调制是物理层（PHY），因此也可将其用于不同的协议和不同网络架构（如 Mesh、Star、点对点）。可以将 LoRa 概括为 LoRaWAN 协议、CLAA 网络协议和 LoRa 私有网络协议。

1）LoRaWAN 协议

LoRaWAN 协议是由 LoRa 联盟推动的一种低功耗广域网协议，针对低成本、电池供电的传感器进行了优化，包括不同类别的节点，优化了网络延迟和电池寿命。LoRa 联盟标准化了 LoRaWAN，以确保不同国家的 LoRa 网络是可以互操作的。

LoRaWAN 构建的是一个运营商级的大网，覆盖地区乃至全国的网络。经过几年的发展，目前已建立起了较为完整的生态链：LoRa 芯片—模组—传感器—基站或网关—网络服务—应用服务。

在芯片方面，Semtech 授权了多家公司做芯片，如 ST、Micorochip、华普等，使得芯片产品更为丰富。一芯多源，产品不再受限于一家供应商。未来或许会有更多的厂家获得授权，会生产出满足物联网市场多样化需求的产品来。

在 LoRaWAN 的产品中，多数厂家是以提供（云）端到（终）端的解决方案为主，包括模组、网关和网络服务器，如 NPLINK、八月科技、华立、唯传、门思、未来宽带等公司。由于对设备数据的要求不同，LoRaWAN 网络服务（NS）有的是私有化部署，有的是部署在公有云或第三方网络服务器上。

面向运营级的网关产品需要用到运行 Linux 的处理器，成本相对比较高。ST 和 RisingHF 一起开发了一款低成本的基于 STM32 的网关。网关的 Demo Kit 采用了 ST 公司的 STM32F746 Nucleo 板和 Semtech 公司的网关模组。STM32F746 Necleo 板（NUCLEO-F746ZG）使用了基于 ARM Cortex-M7 内核的 STM32F746ZG，主频为 216MHz，1082 CoreMark/462DMIPS，LQFP144，1MB FLASH。ST 还推出了基于 ARM Cortex-M7 内核的 STM32H7 系列更高性能的 MCU，400MHz 处理器频率下性能可达到 2010 CoreMark/856 DMIPS，为低成本的网关产品提供了更多 MCU 产品的选择机会。基于 STM32 的低成本网关适用于一些小范围内或节点为数不多的应用。

LoRa 市场的业务特点产生了像 LORIOT、AISenz 等这样的专业网络服务公司，提供基于 LoRaWAN 网络的管理平台和应用服务。当数据成为一种服务，与产品相结合，硬件不再是产品的全部，物联网产品的定义或许会因此而改变，会产生出一些新的商业模式。

LoRaWAN 目前还基本上是面向企业的市场，还没有普及到面向用户的市场。一些具有行业或市场资源的公司会较早地部署 LoRaWAN 网络，改变原有或创造新的应用系统。

2）CLAA 协议

中国 LoRa 应用联盟（China LoRa Application Alliance，CLAA）是在 LoRa 联盟支

持下，由中兴通信发起，各行业物联网应用创新主体广泛参与、合作共建的技术联盟，旨在共同建立中国 LoRa 应用合作生态圈，推动 LoRa 产业链在中国的应用和发展，建设多业务共享、低成本、广覆盖、可运营的 LoRa 物联网。中兴通信作为 LoRa 联盟董事会成员，与 LoRa 联盟成员一起共同推动 LoRa 技术在全球低功耗广域网络（LPWAN）建设和产业链的发展。

中兴通信在 LoRaWAN 的基础上优化了协议，构建了共建共享的 LoRa 应用平台。凭借中兴通信行业的实力和影响力，在 CLAA 平台上已聚集了很多公司的产品。CLAA 提供网关和云化核心网服务，可快速搭建起 LoRa 网络的物联网系统的应用来。

3）LoRa 私有网络协议

在面向小范围的节点数不多的应用中，使用 LoRaWAN 网关部署网络成本较高。目前，在一些应用中采用一个或几个 SX127x 做一个小“网关”或“集中器”，无线连接上百个 SX127x，组建一个小的星型网络，通过研究 LoRa 私有通信协议实现一个简单的 LoRa 私有网络。

3. LoRa 组网技术

目前，基于 LoRa 技术的网络层协议主要是 LoRaWAN，也有少量的非 LoRaWAN 协议，但是通信系统网络都是星状网架构，以及在此基础上的简化和改进。组网模式主要包括以下 3 种。

1）点对点通信

一点对一点通信，多见于早期的 LoRa 技术。A 点发起，B 点接收，可以回复，也可以不回复确认，多组之间的频点建议分开。点对点通信单纯利用 LoRa 调制灵敏度高的特性，目前主要针对特定应用和试验性质的项目。这种模式的优点在于最简单，缺点在于无法组网。

2）星状网轮询

一点对多点通信，N 个从节点轮流与中心点通信，从节点上传，等待中心点收到后返回确认，然后下一个节点开始上传，直到所有 N 个节点全部完成，一个循环周期结束。该结构本质上属于点对点通信，但是加入了分时处理，N 个从节点之间的频点可以分开，也可重复使用。这种模式的优势在于单项目成本低，不足之处是仅适合从节点数量不大和网络实时性要求不高的应用。

3）星状网并发

一点对多点通信，多个从节点可同时与中心点通信，从节点可随机上报数据。节点可以根据外界环境和信道阻塞自动采取跳频和速率自适应技术。逻辑上网关可以接收不同速率和不同频点的信号组合，物理上网关可以同时接收 8 路、16 路、32 路甚至更多路数据，减少了大量节点上行时冲突的概率。这种模式具有极大的延拓性，可单独建网，可交叉组网。

5.2.2 物联网监测设备智能化技术设计

1. 智能传感器技术

传感器与微型计算机相结合形成了智能传感器。它兼有检测和信息处理功能，同时具有记忆、存储、解析、统计处理及自诊断、自校准、自适应等功能和远距离通信功能。智能传感器构成如图 5-1 所示。

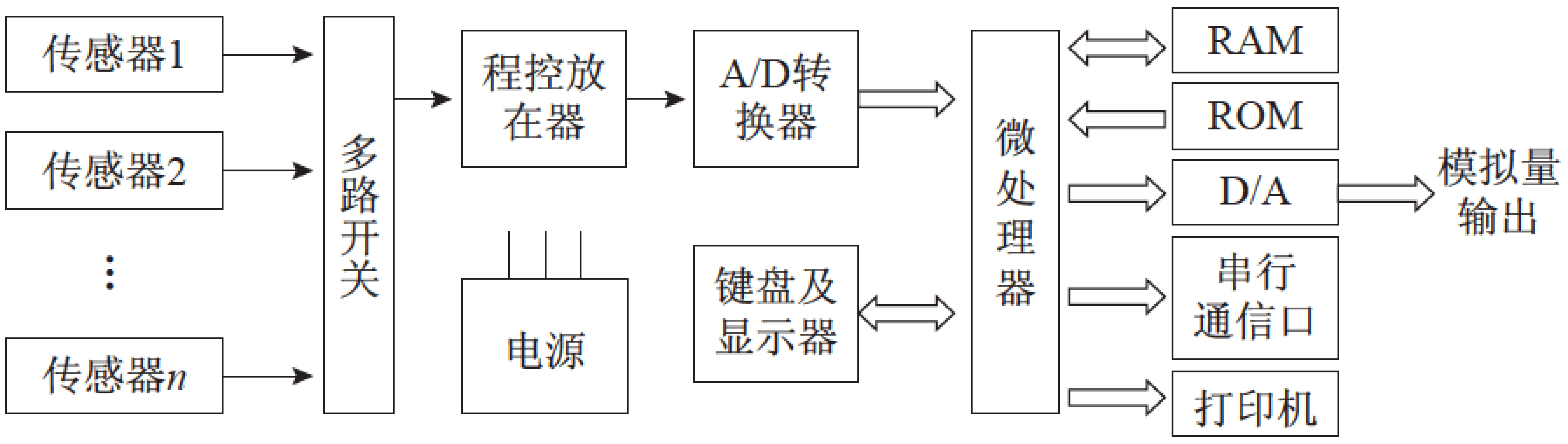


图 5-1 智能传感器的构成

下面介绍智能传感器的功能。

（1）自补偿功能。可以通过软件对传感器的非线性、温漂、时漂、响应时间等进行自动补偿。

（2）自校准功能。操作者输入零值或某一标准量值后，自校准软件可以自动地对传感器进行在线校准。

（3）自诊断功能。接通电源后，可以对传感器自检各部分是否正常。在内部出现操作问题时，能够立即通知系统通过输出信号表明传感器发生故障，并可诊断发生故障的部件。

（4）数值处理功能。根据内部的程序自动处理数据，如进行统计处理、剔除异常数值等。

（5）双向通信功能。智能传感器的微处理器与传感器之间构成闭环，微处理器不但接收、处理传感器的数据，还可以将信息反馈至传感器，对测量过程进行调节和控制。

（6）信息存储和记忆功能。智能传感器内部带有掉电非易失的存储芯片，可以在工作状态及掉电状态下保存设备的运行信息。

（7）数字量输出功能。智能传感器输出数字信号，可以很方便地与计算机或接口总线相连。此外，新兴的智能传感器技术还包括遥控设定、可编程序以及防止非法侵袭等特征，在性能上更加完整和先进。

2. 边缘计算技术

边缘计算是指在网络边缘执行计算的一种新型计算模型。在边缘计算中，边缘的下行数据表示云服务，上行数据表示万物互联服务，而边缘计算的边缘是指从数据源到云

计算中心路径之间的任意计算和网络资源。边缘计算的核心则包括两点：第一，边缘侧具有计算能力；第二，边缘侧能进行多种计算服务。图 5-2 表示基于分层设计的边缘计算体系框架，该框架包含 4 个功能域。由上至下分别为应用域、数据域、网络域和设备域。应用域基于设备、网络、数据功能域提供的开放接口，实现边缘行业应用的全生命周期管理，支撑边缘业务高效运营与可视化管理。数据域能够提供数据优化服务，包括对数据的提取、聚合、互操作、语义化以及分析与呈现的全生命周期服务，并保障数据的安全与隐私性。网络域通过海量连接、自动化运维和实时连接为系统互联、数据聚合与承载提供连接服务。最底层的设备域通过贴近或嵌入传感、仪表、机器人和机床等设备的现场节点，支撑现场设备实现实时的智能互联及智能应用。

设备域：可以对感知的信息直接进行计算处理。

网络域：通过部署计算能力，实现各网络协议的自动转换，对数据格式进行标准化处理。要解决物理网中数据异构的问题，就需要在网络域中部署边缘计算，以实现数据格式的标准化和数据传递的标准化。例如，将所有感知数据都换算成 MQTT 类型数据，并通过 HTTP 方式传递。同时，网络域的边缘计算，还能对“融合网络”进行智能化管理，实现网络的冗余，保证网络的安全，并可进一步参与网络的优化工作。

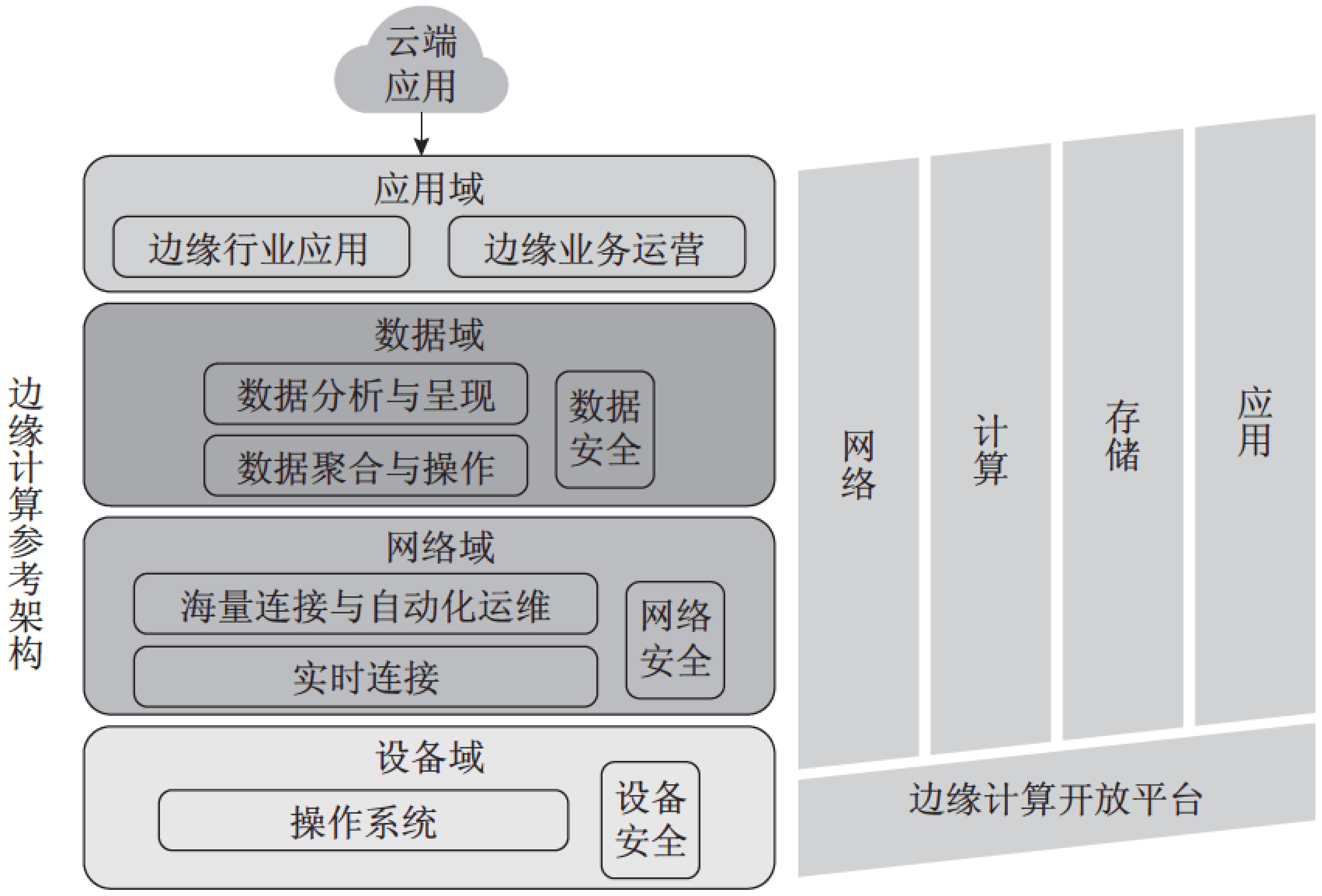


图 5-2　边缘计算体系架构

数据域：边缘计算使得数据管理更智能，存储方式更灵活。首先，边缘计算可以对数据的完整性和一致性进行分析，并进行数据清洗工作，消灭系统中的“脏”数据。其次，边缘计算可以对计算和存储能力以及系统负载进行动态部署。

应用域：边缘计算提供属地化的业务逻辑和应用智能。它使应用具有灵便、快速反应的能力，在离线的情况下（和云端失去联系时），仍能够独立地提供本地化的应用服务。

在物联网贴近用户和应用场景的地方，边缘计算被部署在以上 4 个层域中。它使设

备具有智能化的感知能力，装配自适应的连接策略和部署策略，解决系统中的数据异构问题，并提供局部的业务逻辑，甚至智能。

3. 终端自管理技术

终端管理模型的核心构成组件包括终端管理节点（Terminal Management Node，TMND）和终端控制中心（Terminal Control Center，TCC）。终端控制中心位于终端侧，完成对终端设备及其组成的网络的本地维护，并协助终端管理节点实现对终端的远程管理。终端管理节点是对大量、异构终端设备及其组成的网络进行统一管理的关键组件，通过与各终端控制中心交互，实现终端网元和网络管理、业务设置与控制、用户业务管理等功能。该模型支持终端的自主管理。在终端管理节点的协助下，终端设备能够收集网络环境、设备状态等上下文信息，并基于策略执行自主管理任务。终端管理模型如图 5-3 所示。

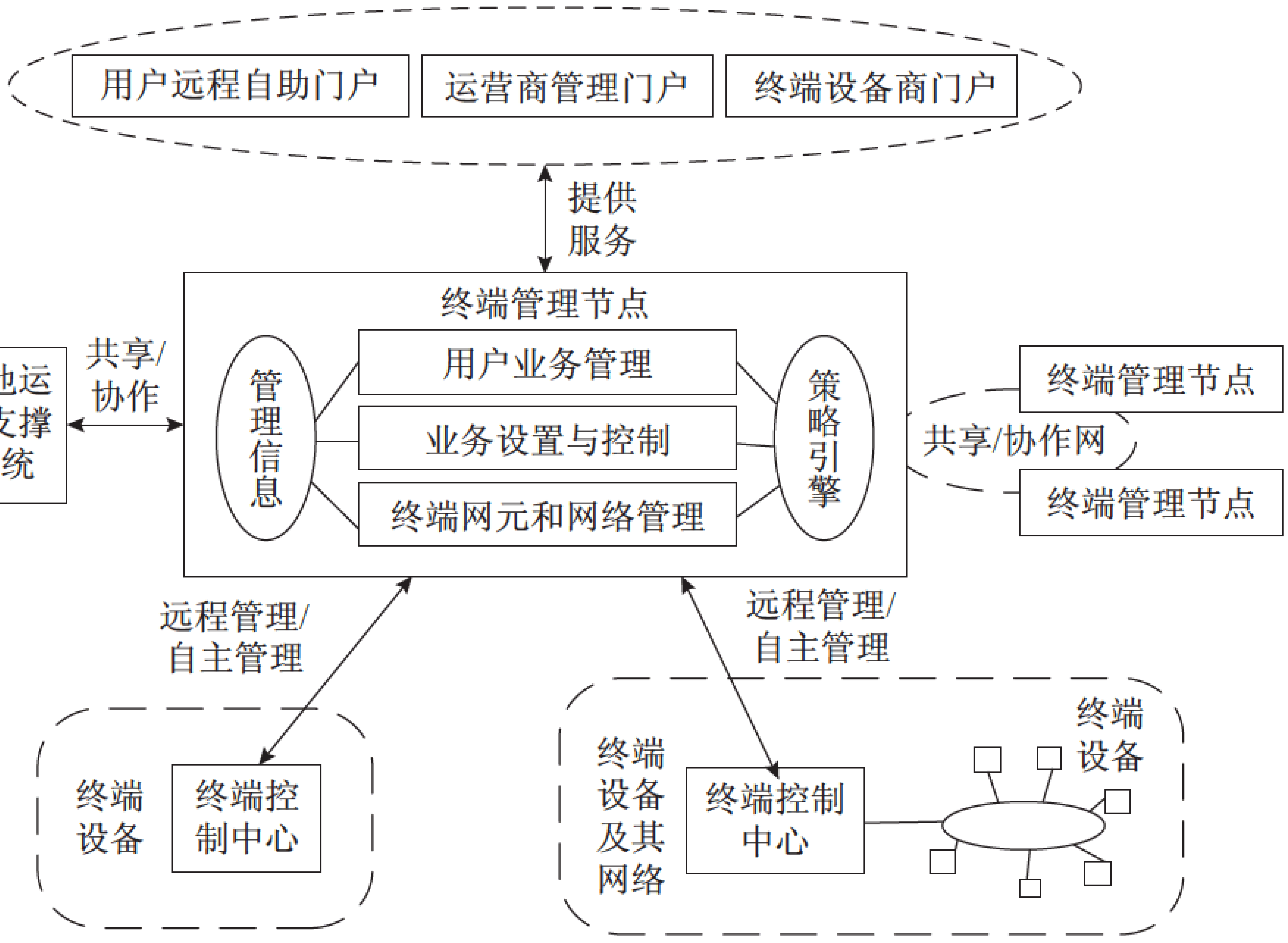


图 5-3 终端管理模型

终端管理节点对外提供共享和协作。一方面，多个终端管理节点之间相互配合，共同完成跨域的管理任务；另一方面，终端管理节点与其他运营支撑节点协作，共享终端管理信息库中存储的终端资源和上下文等信息，协助其他运营支撑节点完成运营管理任务。

终端管理节点面向多种用户提供服务。通过终端管理节点，运营企业可以实现对终端设备及其组成的网络的集中管理；终端设备商可以发布终端设备软件包和设备参数；普通用户则可以对异地终端设备进行远程的自助管理。

5.2.3　物联网输电线路在线监测技术设计

1. 输电线路微气象监测

输电线路所处的复杂地形可能山岭纵横，海拔高程悬殊，气象变化显著，小气候特点十分突出。邻近气象台站的观测记录，不能满足微地形地段线路的设计、维护需求。对微地形、微气象的认识不足，对沿线风口、峡谷、分水岭等高山局部特殊地段的气象资料掌握不够，是近年来我国电网主干线 500kV（330kV、220kV、110kV）线路频频发生倒塔、断线事故的主要原因。

微气象监测装置主要监测电力通道内的环境温、湿度、风向等气象参数，经过大量的数据积累，可应用采集气象参数为线路规划设计提供依据，为线路维修、维护提供参考。

气象监测装置依次进行风速、风向、温度、湿度、气压、降水量、日照强度的采集。其中温度、湿度、气压、日照强度的采样频率为 6 次 /min，将 1min 连续 6 次的采样值去掉一个最大值和一个最小值，余下 4 个值的算术平均值作为 1min 的瞬时值。雨量的采样频率为 1 次 /min。

2. 输电线路覆冰预警监测

覆冰事故在世界范围内都是冬季输电线路的常见事故。该事故破坏力大、波及面广、损失惨重。一旦发生覆水事故，轻则导致绝缘子串冰闪跳闸、相间闪络跳闸和导线大幅舞动等可恢复供电周期较短的重大事故，重则导致杆塔倾斜甚至倒塌、线路金具严重损坏和导线脆断接地等可恢复供电周期较长的特大事故。

输电线路覆冰在线监测通过全天候采集运行状态下输电线路的绝缘子串拉力、绝缘子串风偏角、绝缘子串倾斜角、风速、风向、温度、湿度等特征参数，将数据信息实时传输到分析处理中心，通过智能分析计算导线覆冰厚度。相关部门根据线路荷载、覆冰厚度及周边气象环境，结合视频监测系统拍回的现场图片，直观地了解线路的覆冰状况，决定是否需要实施预防措施。

3. 输电线路图像 / 视频监测

输电线路巡检和维护具有分散性大、距离长、难度高的特点，迫切需要一种简便、有效的监控、监测手段对输电线路周边状况及环境参数进行多目标、全天候监测，使输电线路运行于可视可控之中。

输电线路图像、视频监测采用先进的数字视频压缩技术、远距离 GPRS/CDMA/3G 无线通信技术、新能源及低功耗应用技术、软件技术及网络技术将电力杆塔、导线现场的图像、气象信息经过压缩、分组后通过 GPRS/CDMA 等无线网络传输到监控中心，从而实现对输电线路周边环境及环境参数的全天候监测，使线路管理人员在中央监控室也可看到杆塔现场信息，将事故消灭在隐患状态，大大提高线路安全运行水平。这为输

电线路的巡视及状态检修提供了一条新的思路，同时，大大节省了现场巡检的人力、物力。

该系统主要用于以下情况。

（1）覆冰区导线、地线、塔体覆冰状况观测。

（2）跨江、河、山等大跨越区监测。

（3）易滑坡、塌方区监测。

（4）线路周围建筑施工等易受人为外力破坏区监测。

（5）导线、塔体、绝缘子串、线夹、防震锤等部件异常监测。

（6）通道内树木、竹等易生长物监测。

（7）山川、河流等人员不易到达区巡视。

（8）偏远地区变电站监视。

由于输电线路视频 / 图像采集设备在高点位安装，存在一定的晃动问题，图像的摄取存在不稳定和小角度偏转等实际情况，图像中的可分析、辨别的物体有可能为小摄取范围的物体（即占图像画面面积很小），因而对图像的智能识别又提出了较高的要求。可在专用摄像机中加入专用于图像识别分析算法的芯片技术，通过对摄像机所采集的图像进行算法分析，自动判断异常情况的出现并报警。

4. 输电线路导线温度监测及动态增容系统

近年来，我国经济的持续快速增长，致使电网规划建设滞后和输电能力不足的问题日益突出，加剧了电网和电源发展的不协调矛盾，带来了一系列问题。一些输电线路受到输送容量热稳定限额的限制，已严重制约系统内输电线路的输送容量，极大地影响了电网供电能力。受输电走廊征用困难以及环境保护等因素制约，建设新的输电线路投资大，建设周期长，征地开辟新的线路走廊难度高。因此，如何提高现有架空输电线路单位走廊的输送容量，最大限度地提高现有输电线路的传输能力，已成为确保电网安全、经济、可靠运行的一个迫在眉睫的问题。

输电线路常年运行在户外，受外界环境腐蚀、老化、振动等因素的影响，导线接头、线夹等部位容易发热。电力部门采用定期巡视测温、特巡测温等方式获取导线易发热部位的温度，但由于周期性漏失或不能及时反映导线的温升情况，因此导线温升过高造成大量电力事故。

导线温度在线监测系统实时监测输电线路的导线温度、导线电流、日照、风速、风向、环境温度等参数。系统主要由测温单元、塔上监测装置、通信基站和分析查询系统四部分组成。其中体积小、重量轻的测温单元安装在输电线路导线或金具上，实时采集导线及金具温度，并通过无线传输模块将数据无线上传至铁塔上的监测装置。监测装置同时对本塔所在微气象区的日照、风速、风向、环境温度等参数进行实时采集，将所有数据通过 GSM/GPRS/CDMA1X 等通信方式传往监测中心，当各温度监测点温度超过预设值时即刻启动报警。

输电线路动态增容是在充分利用现有输电设施、通道状况的基础上，引入输电线路

在线监测与计算分析工具，根据实际气象环境、设备数据，如环境温度、风速、风向、日照以及导线型号、导线发射率、导线吸收率、导线最高温度阻值等详细的导线数据，计算输电线路当前的稳态输送容量限额，为调度和运行提供方便有效的分析手段，通过导线温度在线监测进行实时增容，有效发挥输电线路的输送能力。

5. 输电线路杆塔倾斜监测

输电线路走廊的地质、气象环境复杂，近年来由于线路杆塔倾斜倒塌引起的电力事故呈上升趋势。引起杆塔倾斜的原因主要有：长期定向风引起杆塔受力不均；自然地质灾害；杆塔周围建筑施工；杆塔本体异常、导线断裂；导线、地线覆冰；拉线、塔材被盗；采煤、采矿区地陷、滑移等。杆塔倾斜一般发展缓慢，绝大多数事故是可提前预防的。

输电线路杆塔倾斜在线监测通过测量杆塔、拉线的倾斜角度，并测量环境的风速、风向、温度、湿度等参数，将测量结果通过 GPRS/GSM 网络发送到接收中心。中心软件可及时显示杆塔的倾斜状况，并可显示杆塔的倾斜趋势、倾斜速度，在倾斜角度到达某值时以短信、界面、警笛等方式发出报警信息，以预防事故的发生。

输电线路杆塔倾斜在线监测通过安装在输电线路杆塔上的双轴倾角传感器测量杆塔的顺线倾斜角和横向倾斜角，结合杆塔施工图中的杆塔高度参数，经过运算即可得到杆塔倾斜度、杆塔顺线倾斜度、杆塔横向倾斜度。

6. 输电线路微风振动监测

导线、地线的微风振动是由微风引起的一种高频率、小振幅的导线运动，是引起导、地线疲劳断股等事故的主要原因。自 20 世纪初美国首先在一条输电线路的海峡跨越处发现导线的振动断股现象以来，人们一直在进行微风振动问题的研究，包括振动机理、防振理论、振动试验、防振装置、防振导线等方面。几十年来，已经积累了丰富的经验。在超高压架空线路上，均设计应用了各种具体的防振技术措施，有效地抑制了微风振动，减轻了对线路的危害。但是，由于微风振动的机理极其复杂，通过理论计算或试验研究的结果与现场实际往往差别很大。

输电线路微风振动监测在导线及 OPGW 线夹出口 89mm 处安装振动监测单元，采用加速度传感器或光纤传感器进行测量。振动监测单元实时测量导线的振动加速度、振幅、频率、导线温度，并通过 ZigBee 或 RF 射频模块将数据无线上传至铁塔上的监测装置。监测装置同时对本塔所在微气象区的风速、风向、环境温度等参数进行实时采集，将所有数据通过 GMS/GPRS/CDMA1X 等通信方式传往监测中心，中心系统据 IEEE 和 CIGRE 方法，判断导、地线和 OPGW 的危险程度，预测疲劳寿命，根据测量数据评估防振措施的有效性，并及时做出修正。

线夹出口处的地线受力一般包括拉力、上层股线与下层股线之间的压力、卡门漩涡产生的弯曲应力等。地线的疲劳主要由上下交变的弯曲应力引起，地线上下弯曲，又会

造成线股之间的滑移现象。滑移现象因受摩擦力的作用而得到抑制，而摩擦力一方面产生了线股之间的剪切应力，另一方面引起了线股之间的磨损。

7. 输电线路反外力破坏监测系统

输电线路具有面广、线长、高空、野外的特点，极易遭遇外力破坏。随着经济的快速发展，输电线路的运行环境日益恶化，输电线路走廊内的树木、房屋、道路、城镇建设、采石挖矿、施工对线路的破坏大量增加，对线路和安全运行构成了很大的威胁。输电公司一方面加强巡视力度，缩短巡视周期，做到对隐患早发现、早上报、早消除；另外继续加强特巡、夜巡，对施工场所进行看护、制止野蛮施工。但由于巡视人员少、距离远，并且 90% 以上的事故具有短期内的突发性特点，是加强巡视所解决不了的，往往是刚巡视过就出现问题。据统计，由于外力破坏引起的线路故障已占总线路总故障的 60% 以上，造成的故障具有停电时间长、不易重合闸、经济损失大的特点，并且呈逐年上升的趋势。

8. 输电线路导线对地距离（弧垂）监测

高压线路运行过程中，由于负荷增加、环境温度过高等引起导线弧垂的增加，因而造成导线对地、物距离的减小，一方面引起电力接地、短路等重大事故，另一方面也限制了导线的输送能力。

输电线路导线弧垂监测装置安装在导线的弧垂最低处或需要监测的部位，采用高能电池或导线感应取能技术，实时测量导线对地距离的变化情况，可及时发现导线弧垂的变化，并可实时监测线下树木、建筑物等与导线之间的距离，避免接地事故的发生。监测装置集成了导线温度测量功能，可实时监测导线的温度变化情况，及时发现导线、接点温度异常，还可选装夜视摄像系统，对导线弧垂进行现场拍照，远程查看弧垂情况，与测量数据对比，增加测量及报警可靠性。系统应用软件针对导线弧垂实时数据进行计算分析，并可结合导线的温度和气象数据对导线预期弧垂进行计算，建立预警机制，确保线路运行和被跨越设备的安全。同时，系统应用软件可结合环境的气象参数、导线温度、导线特性等数据，依据专家分析、计算系统计算出导线载流量，提高导线输送能力。

9. 输电线路山火预警系统

森林火灾会给森林带来严重危害。森林火灾位居破坏森林的三大自然灾害（病害、虫害、火灾）之首。它不仅给人类的经济建设造成巨大损失，破坏生态环境，而且会威胁到人民的生命财产安全。森林火灾的发生，对电网安全稳定运行也会造成威胁。轻则引起可恢复的线路跳闸等临时事故，重则造成烧毁铁塔，引起长时间的不可恢复的重大电力事故。这给电力安全运行带来重大隐患。相关数据显示，从 2010 年 1 月 1 日至 3 月 25 日，云南电网 220kV 及以上主要输电线路因山火跳闸 35 条次，强迫停运 28 条次；110kV 线路因山火跳闸 43 次。广东省自 2011 年 2 月以来，仅 10 天时间里，就发生山火 92 宗。其原因主要是燃放烟花爆竹和孔明灯，祭祖烧香烧纸，烧田基草，违规炼山等；

同时，进山的旅游休闲人员增加，野外火源复杂，森林防火形势严峻。

为防范山林火灾对输电线路安全运行的影响，各电力公司要求各单位经常性地开展防范山火引发输电线路跳闸的专项检查工作。安排人力物力，加大输电线路巡查频度，重点检查火灾多发地区、清明祭扫附近的线路走廊，及时发现隐患，防止火灾影响电力输电线路运行安全。以上手段能有效地减少火灾对电力安全的影响，但由于巡视只能是间歇性的，而且很多线路走廊人员难以到达，给巡视工作造成很大的困难，因此大多数事故是由于巡视不到位引起的。

10. 输电线路雷击、污闪定位系统

高压 / 特高压输电线路绝缘子的雷击闪络和污闪（含雾闪及冰闪）是引起事故跳闸的两大主要原因。线路闪络跳闸后，变电站的故障录波装置能指出闪络点的可能区段，但不能确定发生闪络的具体杆位，需要运行人员巡线查找；另外，部分瓷绝缘子串和复合绝缘子在闪络后被电弧烧伤的痕迹，在地面借助望远镜仍然难以发现，常需要逐基登杆检查，耗费大量人力、物力和时间，影响安全运行，给供电企业和用户造成损失。绝缘子雷击闪络 / 污闪双检测装置是依据自主专利技术生产的新一代绝缘子闪络指示器，将其安装在铁塔主材上，当铁塔因雷击发生绝缘子闪络时或正常运行情况下绝缘子发生污闪、雾闪或冰闪时，监测装置会通过 GSM 短消息将闪络的类型及时间、杆塔号发送到监测中心，也可发往相关人员的手机，监测中心会以界面、声光、短信等形式报警，同时进行报警信息的存储。这便于巡线人员了解闪络杆位，并确定闪络性质（雷击闪络或工频闪络），为事故分析提供依据。

绝缘子雷击闪络 / 污闪双检测装置由雷击及闪络传感器、监控主机、太阳能电池板、蓄电池、通信装置等部件构成。将电流传感器套装在铁塔的一根主材的适当高度位置上，每基杆塔一个。

5.2.4　物联网监控云平台技术设计

1. 物联网监控云平台功能结构

物联网监控云平台是在由传感终端和无线通信网络搭建的无线传感物联网络基础上，利用云计算高效地处理海量规模的数据，实现云平台的基础架构、高效存储和计算监测信息，最终实现更加可靠、灵活、大范围、连续的数据监测，整合输电线路上的各类监测资源，及时捕捉导致故障变化的特征信息，有效地采取故障排除措施及应急方案，提供多种输电线路监测与控制服务。

基于云计算的监控平台采用了物联网的架构设计，物联网的架构对基于云计算的监控平台有重要的借鉴意义。物联网一般可以分为三个层次，分别为感知层、网络层和应用层。物联网的感知层和网络层由传感终端和无线通信网络构成，应用层由基于云计算

的平台组成，它们整体形成统一的物联网架构，该架构如图 5-4 所示。

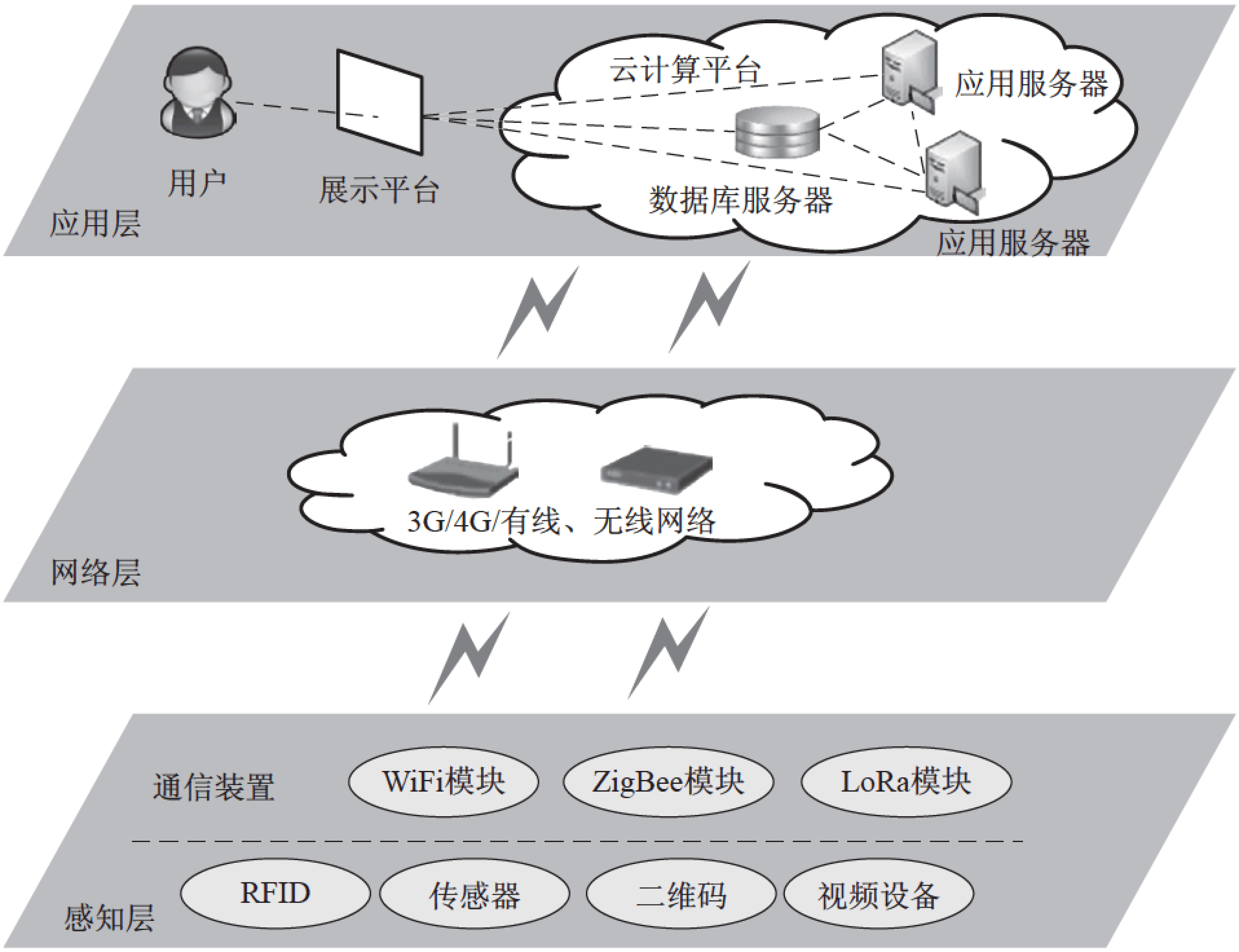


图 5-4　物联网三层架构

（1）感知层。用于采集外界信息的传感器有温湿度传感器、光强度传感器、速度传感器、烟雾报警器、摄像头等，用于自动控制的设备有电机、电磁阀等，还有用于将物理层连入网络层的通信设备，如 WiFi 模块、ZigBee 模块、蓝牙模块、LoRa 模块等。这里采取的感知层由传感器终端和 LoRa 通信装置组成。

（2）网络层。网络层既包括网络接入设备（如物联网网关等），也包括核心的公众的电信网、互联网、专业的通信网络，将物联网建设在这些网络上，可以实现信息的存储与传输，也能够实现物联网的大规模覆盖。这里的网络层的主要任务是将从感知层传输上来的电力设备信息通过统一的通信规约将数据安全传输至电力内网，供各类业务调用。

（3）应用层。利用云服务技术，为整个系统提供云端数据库服务器、应用服务器与数据处理服务器。这 3 种服务器一同组成整个系统的云计算网络。该应用层是物联网结构的终端，利用感知层与网络层提供的专业接口，处理感知层与网络层所感知传递的数据，并进行一些决策，为用户提供一系列的应用服务。这里的重点就是在物联网的应用层构建输电线路传感物联监控云平台。

2. 智能电网云平台系统架构

我国的智能电网，在开放和互联的信息模式基础之上，通过数字设备和电网管理系

统，实现了发电、输电、变电、配电、供电、用电、客户销售、电网分级调度、综合服务等电力产业全流程智能化、信息化、分机互动化的管理。随着智能电网建设步伐的加快，电网过去的计算模式已不能适应新环境，PMU 的使用导致数据采集量大幅上升，急需更加强大的数据处理平台。云计算在社会各个领域被广泛使用。在电力领域，云计算在电力调度、发电系统、变电系统、用电系统中有广泛的应用前景。

云计算平台通过 Internet 与有大量传感器和其他数据采集设备组成的数据采集网相连接。对智能电网而言，这种数据采集网的设备可以是传统的 SCADA 系统传感器，也可以是 PMU 和安装在用户终端的智能电表，甚至是各种智能家电的嵌入式系统。有学者提出，智能电网的云计算平台是一个多层服务的集合。底层是基础实施服务（IaaS），中间是平台服务（PaaS），上层是应用程序服务（SaaS），如图 5-5 所示。

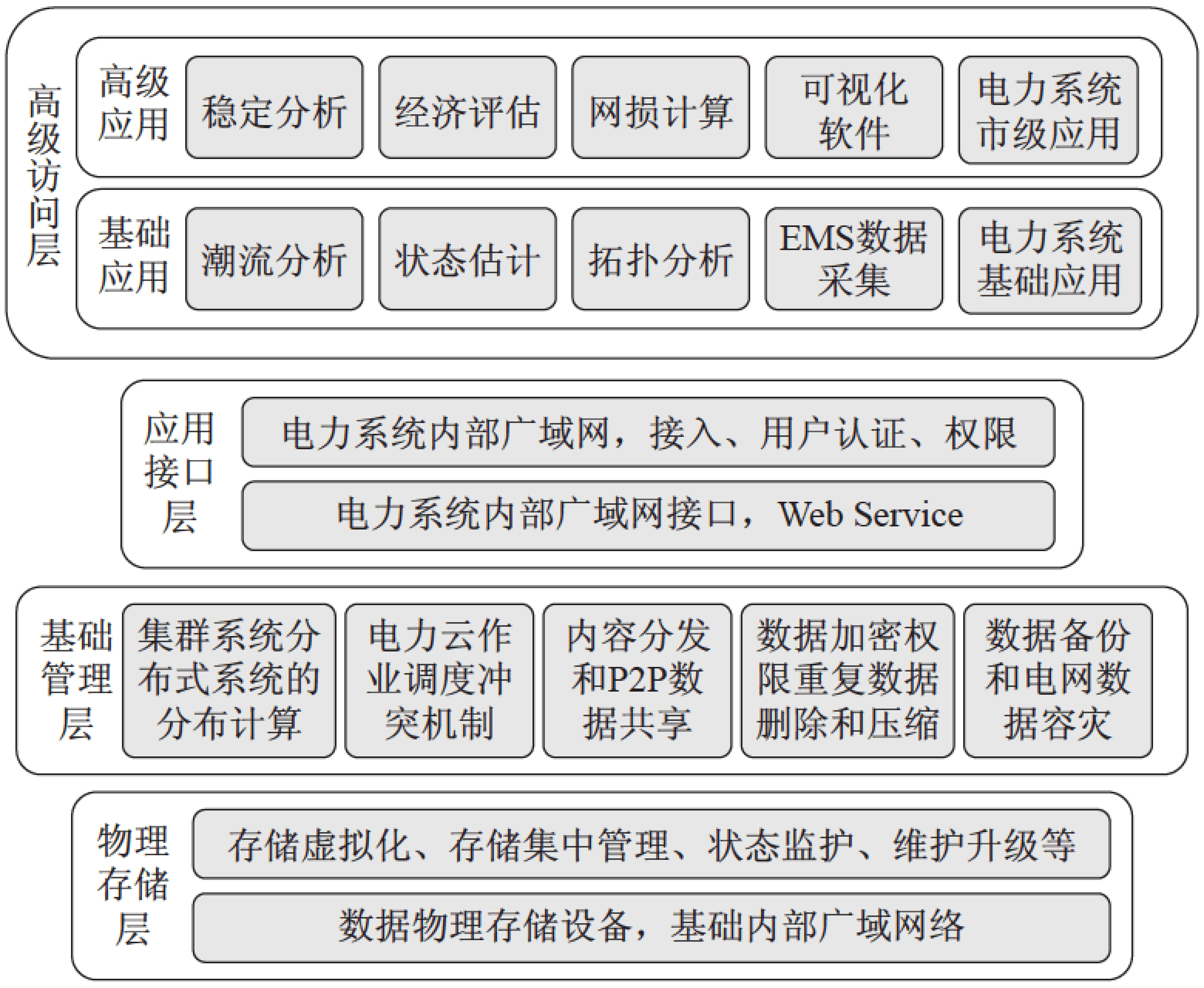


图 5-5 智能电网的云计算平台结构

（1）物理储存层。电力系统内部的网络资源、主机资源、存储资源等基础设施。由于电网系统范围广、结构极其复杂，电力云基础设备分散，大量计算节点分布在不同的地理位置，节点之间通过电力系统内部的广域网进行连接。

（2）基础管理层。通过系统管理软件，以对用户透明的方式，实现电力私有云中所有计算资源、存储资源的协同工作，包括数据处理、任务冲突机制、节点管理、数据备份和加密、数据容灾、容错处理。

（3）应用接口层。该层为电力系统各种应用提供基础性服务，通过配置使电力云为不同的电力运行管理机构提供不同的应用权限、接口和服务。各级地方电网可以登录电力云公共接口以获取计算和存储所需要的资源。

（4）高级访问层。该层为电力系统软件平台，为电力系统的运行提供强大的软件支持，包括电力常用的系统基础应用和高级应用，如潮流分析、状态评估、EMS 数据采集、稳定分析、经济评估、网损计算及可视化软件。开发人员还可以根据自身需求自定义软件，而后部署到云端。

正是有了云计算的分布式体系的技术保证，电网的智能调度、智能监控、智能保护、智能输配电等目标才得以逐步实现。

3. 云计算技术

云平台的搭建核心就是云计算技术。云计算是将动态、易扩展且被虚拟化的计算资源通过互联网提供出来的一种服务。对云计算而言，其关键技术并不是单一的，而是涉及典型的虚拟化技术、多租户技术、分布式存储技术、分布式计算技术和弹性扩展技术，尤其是这些关键技术的整合，更是提升了云计算的性能。

（1）虚拟化技术。虚拟化技术将物理资源进行了替换，呈现给用户的是一个与物理资源有相同功能和接口的虚拟资源，可能是建立在一个实际的物理资源上，也可能是跨多个物理资源，用户不需要了解底层的物理细节。在云计算中，资源虚拟化与应用虚拟化是其最为重要的特点。并且，对于任何一个应用部署的环境或者物理平台，它们之间的关联性几乎为零，彼此之间形成的最终关联，是通过虚拟平台的构建，通过对应用的扩展、迁移和备份以及虚拟化层次共同实现的。

（2）多租户技术。多租户技术使大量用户能够共享同一堆栈的软硬件资源，每个用户按需使用资源，能够对软件服务进行客户化配置，而不影响其他用户的使用。多租户技术的核心包括数据隔离、客户化配置、架构扩展和性能定制。

（3）分布式存储技术。分布式存储的目标是利用云环境中多台服务器的存储资源来满足单台服务器所不能满足的存储需求，其特征是存储资源能够被抽象表示和统一管理，并且能够保证数据读写与操作的安全性、可靠性等要求。因此，它并不是通过某个或某些特定的节点对数据进行存储，而是通过网络互联的形式，将系统中每台终端的磁盘空间利用起来，整体上形成一个虚拟的、庞大的存储设备，数据的存储也更加分散。云计算催生了优秀的分布式文件系统和云存储服务，最典型的云平台分布式文件系统是 Google 的 GFS 和开源的 HDFS。

（4）分布式计算技术。基于云平台的最典型的分布式计算模式是 MapReduce 编程模型。MapReduce 将大型任务分成很多细粒度的子任务，这些子任务分布式地在多个计算节点上进行调度和计算，从而在云平台上获得对海量数据的处理能力。

（5）弹性扩展技术。云计算提供了一个巨大的资源池，而应用的使用又有不同的负载周期，根据负载对应用的资源进行动态伸缩（即高负载时动态扩展资源，低负载时释放多余的资源），可以显著提高资源的利用率。该技术为不同的应用架构设定不同的集群类型，每一种集群类型都有特定的扩展方式，然后通过监控负载的动态变化，自动为应用集群增加或者减少资源。该项关键技术的最终实现，使“云应用”完成了真正意

义上的资源“按需分配”，而不再是传统意义上的简单的“复制”和“转移”。对应用服务而言，除了需要增加服务器来增加资源计算能力外，还要通过“集群”技术将其联合成一个整体，以系统化的形式对外提供服务。

5.3　输电线路物联网感知技术研究与案例分析

输电线路感知技术应用研究总体技术路线、输电线路监测设备智能化技术研究、输电线路传感物联监控云平台技术应用研究是本节介绍的主要内容。

5.3.1　输电线路感知技术应用研究总体技术路线

遵循“需求引导、理论分析、装置研制、综合试点”的路线，开展的具体工作包括LoRa通信技术、传感器融合方法、组网方式、长距离基站布置等。设计并研制适用于高压输电线路长距离、低功耗、长寿命、抗电磁干扰的LoRa嵌入式传感监测装置，实现实时监测数据的汇聚和传输，搭建输电线路全参量传感物联监测云平台，组建新型电力设备传感物联通信基站解决多传感器的长周期数据采集需求。贯通前端传感器与后端云平台组网通信安全通道，实现电力设备传感物联数据的统一接入和管理。选取典型特高压直流输电线路区段，间隔性布置各类LoRa传感终端和基站，间歇性长周期感知获取多参量线路监测信息，为进一步提高输电线路信息化、智能化水平，保障坚强智能电网安全可靠运行提供重要支撑。

总体技术路线如图5-6所示。

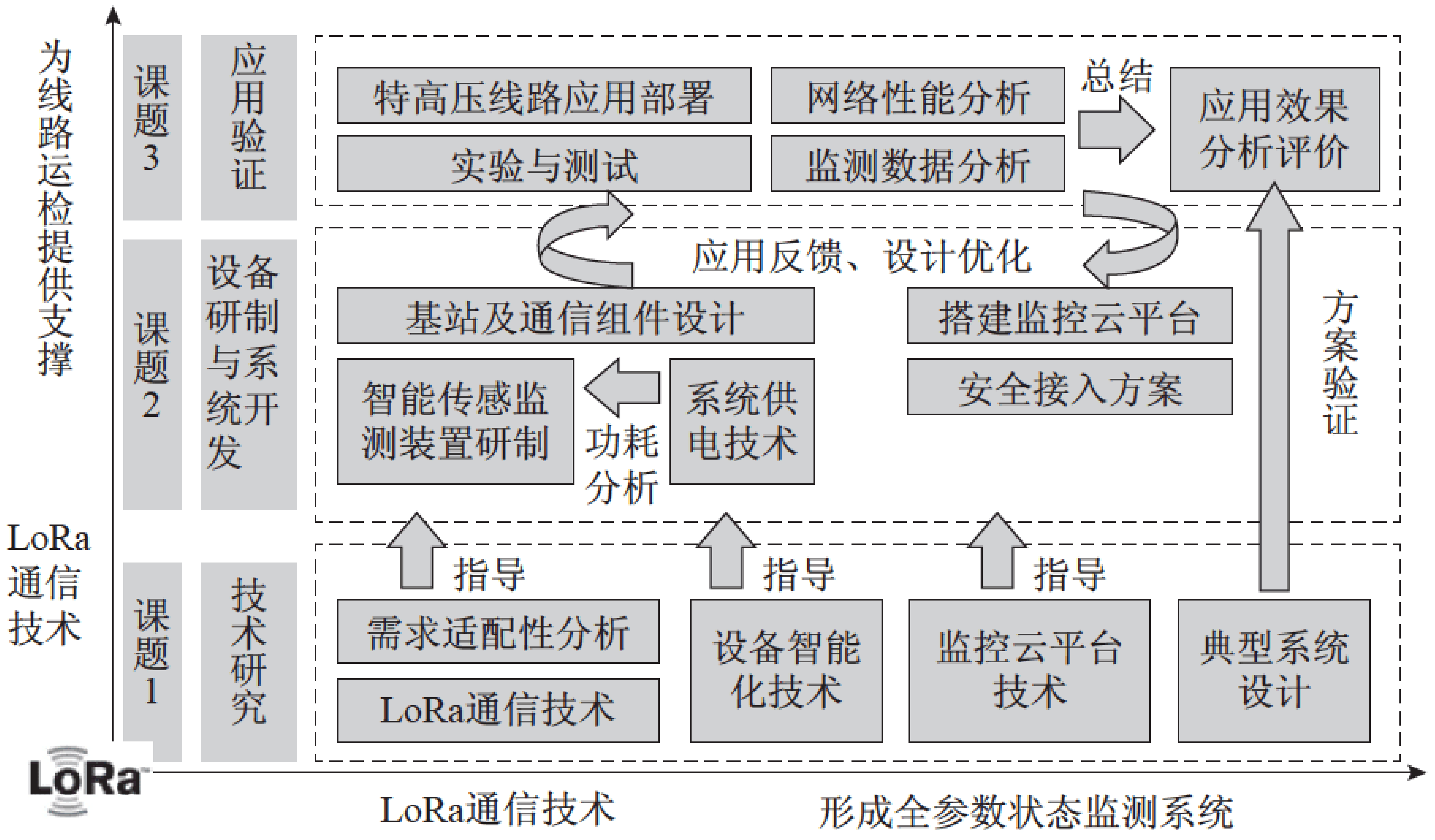


图5-6　总体技术路线

5.3.2 输电线路的 LoRa 广域物联通信技术研究

1. LoRa 组网模式

1）星型组网

目前，经典 LoRa 组网采用星型组网模式，如图 5-7 所示。

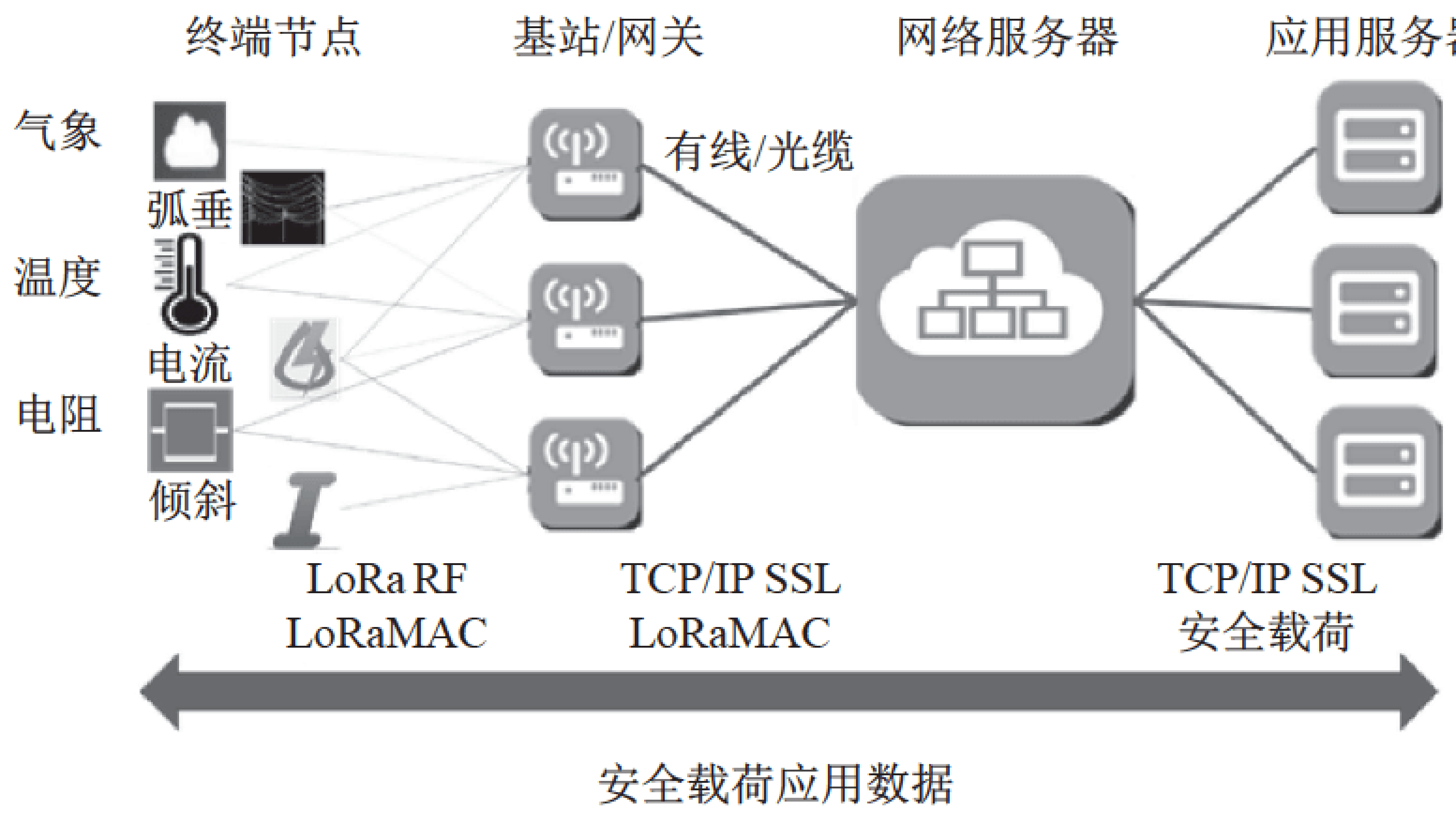


图 5-7 LoRa 星型组网模式

图 5-7 中的终端节点为传感器节点，主要负责数据收集。收集到的数据在通信模块汇聚后由 LoRa 通信协议传输至附近基站，再经各基站节点将汇聚数据传输至网络服务器，基站与网络服务器的通信方式为有线或无线通信。有线方式使用光缆等方式进行传输，无线方式使用蜂窝网络或者 WiFi 网络进行数据传输。

2）链簇组网

输电线路所经之处地形分布复杂，部分地区难以敷设 OPGW 线路，采集数据难度大。通过链簇式组网模式能够很好地解决光纤无法延伸传输的问题，具体组网方式如图 5-8 所示。

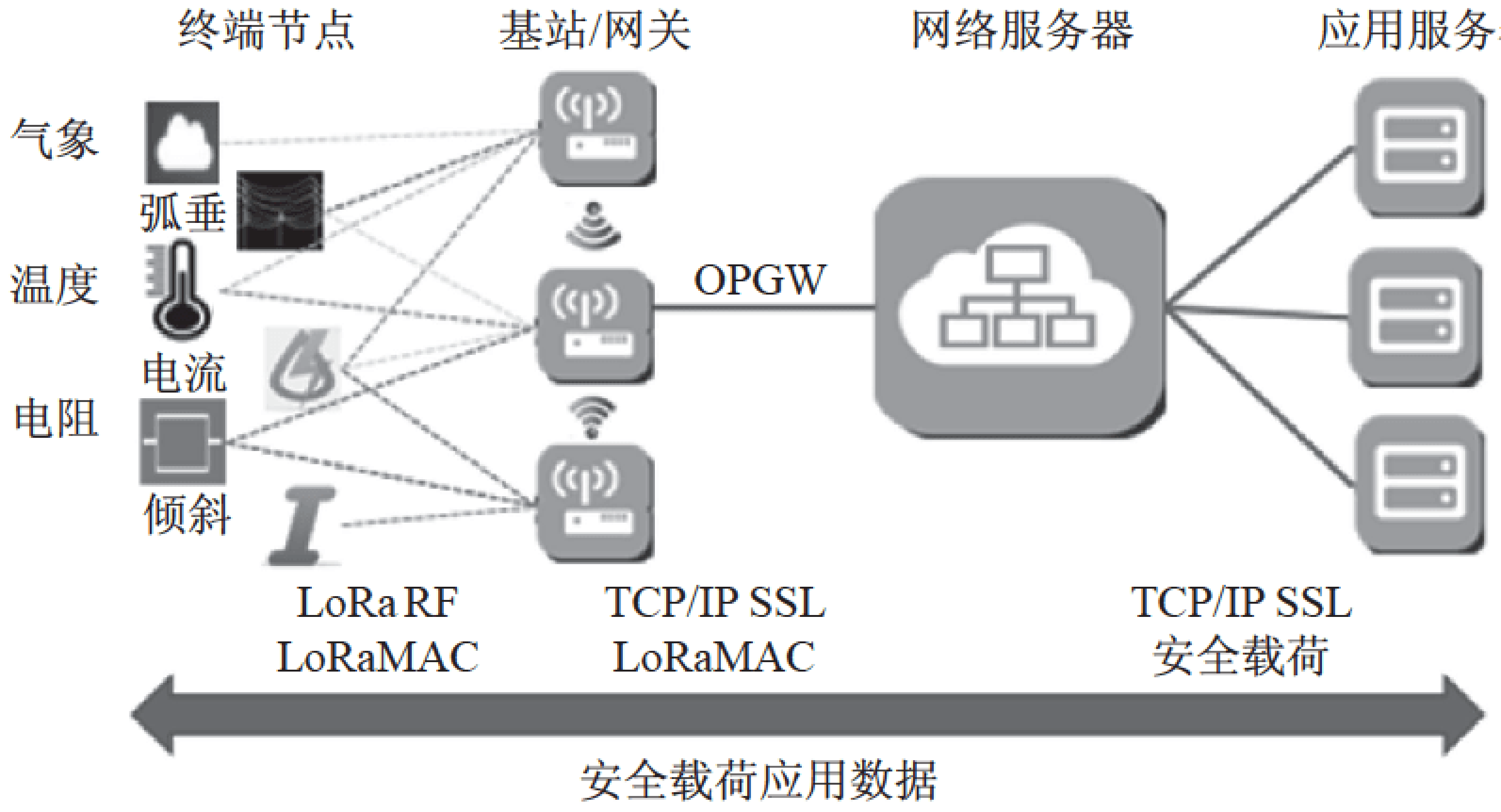


图 5-8 LoRa 链簇组网模式

链簇式组网模式可以 LoRa 基站作为传输延伸手段，当需要在偏远或辅助环境中进行在线监测时，可架设 LoRa 基站作为中继，传输至具备 OPGW 传输的基站进行数据转发，经网络服务器传输至应用服务器。

2. LoRa 基站规划方法

LoRa 基站规划过程分为规划需求分析、网络规模估算及站址规划三个阶段。其流程如图 5-9 所示。

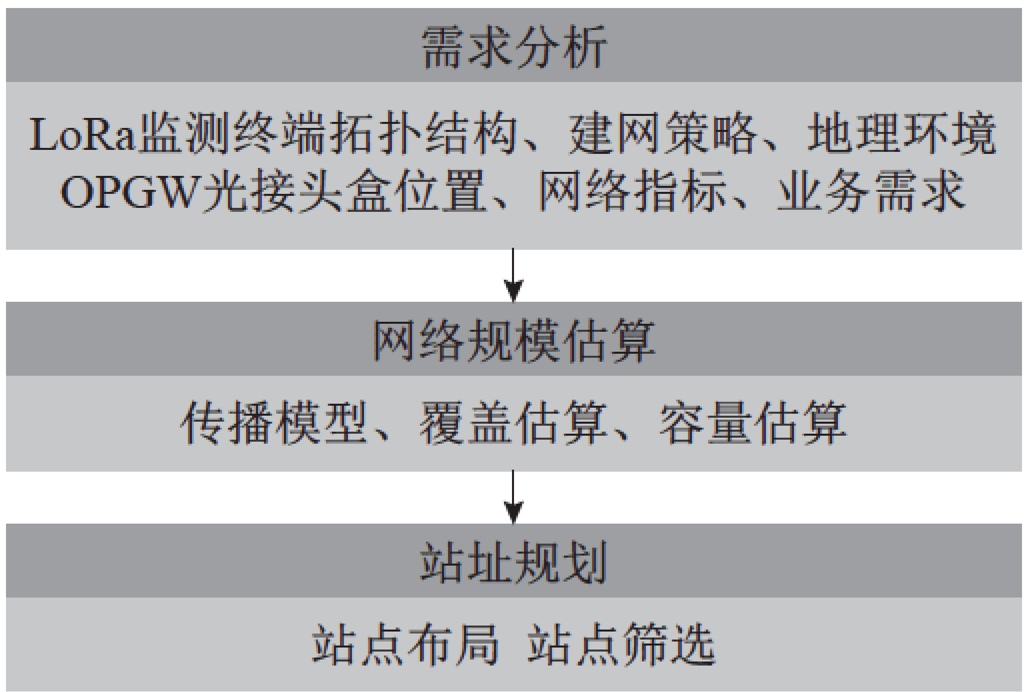


图 5-9　LoRa 基站规划流程

在需求分析阶段，需分析面向输电线路物联感知监测的传感器网络拓扑结构特点，明确建网策略和目标，提出相应的建网指标，并梳理接入业务的种类和业务特点等。在网络规模估算阶段，根据 LoRa 设备发射、接收、天线增益、天线高度、频段等参数估算基站覆盖能力和容量，得出网络的规模，并且通过传播模型和链路计算得出基站的覆盖半径。在确定网络覆盖能力时，要求在覆盖场景下达到一定的用户容量，满足用户的数据速率要求以及接收信号的最小灵敏度，并且能够达到一定的业务质量和服务质量。在站址规划阶段，需面向可靠性、成本等优化目标，考察 OPGW 光缆接头盒位置等限制条件，求解典型区域内 LoRa 长距离基站数量和具体放置位置，优化网络建设和运行成本，提高网络的性能。

1）基于成本的基站规划算法（基站数量最小化）

面向成本最优的基站规划问题可描述为：对于一组待服务的用户（LoRa 嵌入式物联传感器）集合，有一组候选基站的集合用来给用户提供服务，找出成本最小的候选基站子集，使其能够满足所有用户需求。在计算时，考虑一个基站可以服务多个用户，但是一个用户只能由一个基站来服务。每个用户有不同的业务需求，但每个基站拥有的资源有限，用户只被能满足其需求的基站服务，且消耗此基站的部分资源。

在基站的数量、位置、参数都确定后，还需计算基站与用户的连接关系，使这组基站能够服务的用户数量最大化。该问题可抽象为组合优化问题，可以通过数学规划方法求得其最优解。得到最大的用户数后，判断此数量是否等于全部用户数，如果相等，则认为这组基站能够服务全部用户。

在确定的基站集合中，可能存在多余的基站。例如，在基站 A 之后添加进来的基站 B 可以服务基站 A 原本服务的用户，于是可以把基站 A 从集合中删除以减少总成本，此优化过程称为后优化（post-optimization）。

考虑到基站是按顺序添加进集合的，在判断基站是否可删除时，同样按照顺序进行判断，即率先添加进来的基站会优先判断。选定一个基站，将其从已选基站集合中删除，再重新计算集合能覆盖的最大用户数。若仍能实现全部覆盖，则认为此基站可以被删除，否则将此基站重新添加到已选基站集合中。

2）基于可靠性的基站规划算法（基站冗余备份）

本规划通过算法对基站进行冗余部署，以降低由节点故障造成的经济损失。在进行冗余部署时，需要考虑两方面因素：最小化网络的经济成本，包括冗余基站的部署成本和网络潜在的风险成本两部分；最大化网络可靠性。

基站冗余优化以网络可靠性和冗余数量为约束，以最小化网络成本为目标，而网络成本又是由冗余基站部署成本和网络风险成本两部分组成。这两部分具有强相关性，即网络风险成本随着冗余部署成本的升高而降低，反之亦然。因此，如何利用科学有效的方法平衡两类成本，从而使整体网络成本最小，成为解决问题的关键。

3. LoRaWAN 通信组件设计

LoRaWAN 通信组件设计针对通信需求，根据通信环境设计射频天线的优化方法；同时从硬件设计和结构设计两方面研究通信组件的环境适应措施。此外，研究通信组件自适应传感器接口技术方案，有助于提高通信组件的通用性，满足多传感的灵活接入。

1）射频天线设计要求

传统的天线设计，通常考虑的是性能、体积和成本三个因素。对于越恶劣的环境，在射频天线设计时应考虑的因素越多，包括开发难度、应用场合、材质、抗干扰性等。

（1）适应多干扰、多遮挡环境。为了避免受到环境中高频信号的干扰，可在天线和电路板之间增加腔体滤波器，滤除非同频的噪声信号，降低本底噪声。

（2）抗电磁干扰，抗涡流。在电压较高，电流较大，线路开关的接通和断开时，瞬态电磁场变化很大，会对电子设备造成很强的电磁干扰，也可能在金属导线中形成涡流效应。

（3）与设备的一体化设计。为了拥有更好的产品外观和防护性能，天线应该同设备外壳集成为一体。良好的一体化天线设计，可以使装置的安装和维修便利性增强；可以使整机实现更好的防护性能，避免因天线结构原因造成漏水、雷击等故障；可以减少天线接插件的使用，保证良好的电气接触，避免因为接触点腐蚀等原因造成信号收发故障。

2）通信组件环境适应要求

为保证通信组件能够在高、低温，强风等恶劣气候条件下正常稳定地运行，需要采

取多种措施。

（1）硬件设计方面。用工业级乃至军品级的元器件，而且要合理布局，把设备内的发热设元件均匀地分散于各个部位，将低温性能差的元器件与发热量较高的元器件尽量贴近，采取有效的散热措施，充分利用传导散热。

（2）结构设计方面。采用小型化、轻型化、模块化设计思路，做好低温特性差元器件的保温，如电池，做好发热量高元器件的散热，如处理器，采用高性能保温和隔热或导热材料设计外壳内部防护，做好防水、防尘、防震、耐磨等设计。防振措施主要考虑降低振动对电路板正常工作的影响，如在印制板的背面加装横向加强筋，以提高印制板自身的整体刚度，减少印制板在振动、冲击条件下的弯曲。

3）通信组件传感器接口设计

现场的传感器设备因厂家、种类的不同，可能存在不同的接口与协议类型。设计的LoRa组件具备即插即用的功能，硬件上具备丰富的接口，并提供相应的协议转换的模块，可以适配多种接口类型。多接口、自适应的LoRa组件具有接入灵活、经济适用等特点，方便构建电力系统无线监测通信网。

传统的多接口接入方式，通常是将每种硬件接口通过硬件电路直接连接到核心处理器的一个通信接口上，但这种方法使处理器存在占用资源多、接口复用性不强等问题，造成很多不必要的浪费。

自适应模块通过改进传统的接口硬件电路，增加了部分逻辑门电路，再配合通信端口与协议识别方法，实现了通信模块的自适应传感器接口识别。当有外部设备接入通信组件端口时，自适应模块会协助处理器从设定好的物理接口目录中选择一种类型，并发送测试报文。通过分析返回报文，可判定物理接口选择是否正确。若物理接口不匹配，则选择目录中下一种接口模式进行测试，直到匹配为止。识别出物理接口后，再采用与之类似的方法，根据接口类型选择协议目录中对应的标准协议，测试并判定协议类型。

5.3.3　输电线路监测设备智能化技术研究

1. 多传感器融合技术

1）传感器物理融合

因为单个传感器难以提供比较全面的环境信息，所以多个传感器集成在同一个LoRa终端上成为现实、可行的选择。与单传感器系统相比，多传感器融合系统考虑了多传感器共用一个通信模组进行通信的情况，如图5-10所示。多传感器融合系统通过多个传感器获得更多种类和数量的传感数据，在实际应用中多传感器融合系统可视为多入单出系统。

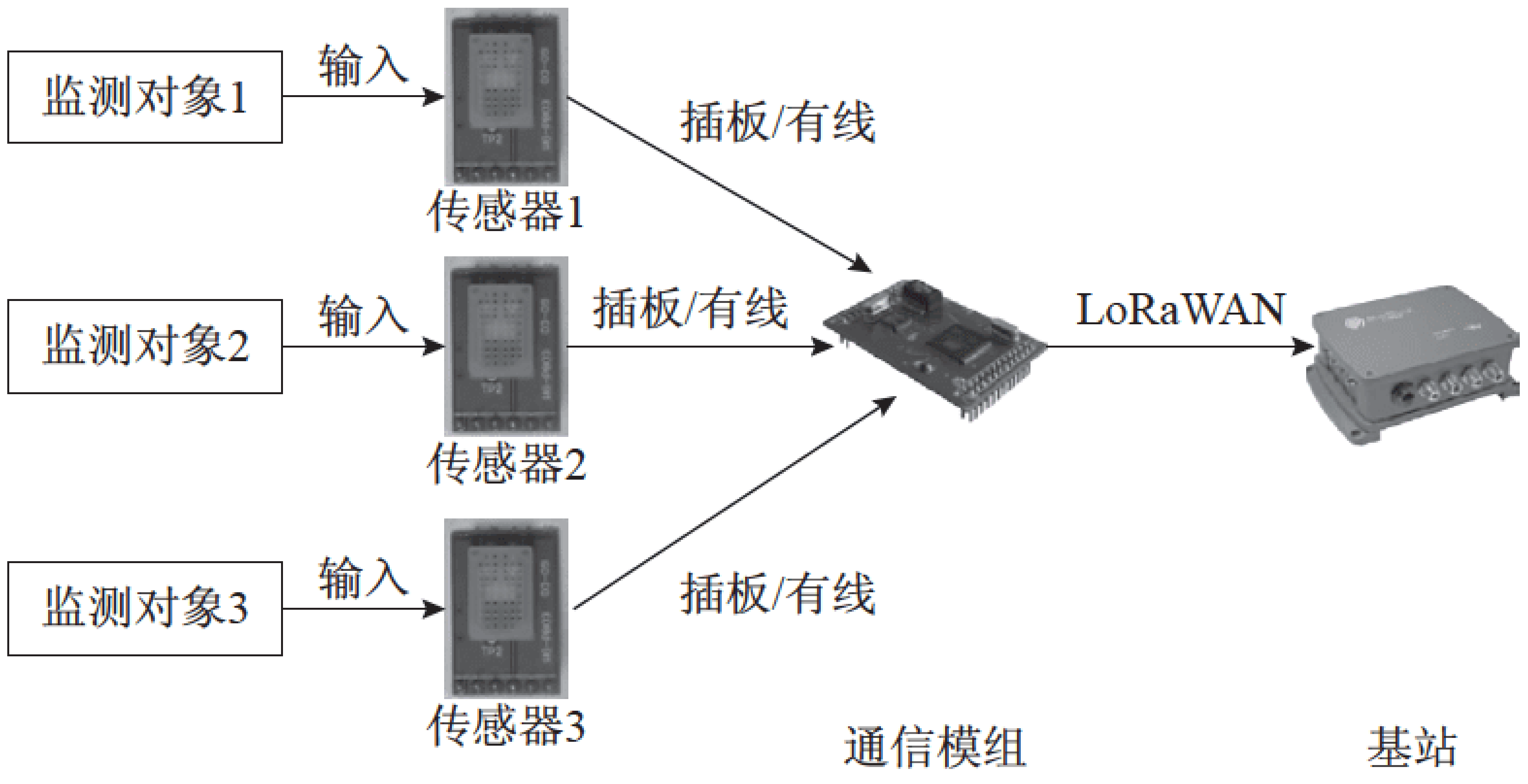


图 5-10　多传感器融合系统

在实际应用中，可以根据需要选择不同的传感器（如温湿度、震动或加速度等）接入 LoRa 终端节点。LoRa 终端设备支持多种输入信号（如 RS-232、RS-485、模拟信号）输入，相应的接口为 RX、A/B、IO3、IO4、IO5。可以通过焊接或者有线的方式将传感器连接至 LoRa 终端，从而根据传感器的输出信号不同选择对应的接口，然后进行多类型数据采集。

2）基于容错机制的传感器数据融合

在传感器层面，其采集的信息需要经过收集、融合处理和传送三个过程。传感器数据收集的作用在于整合来源于不同传感器节点的数据，去掉冗余，获得最小数据传输内容，减少数据传输代价。数据融合处理操作主要应用于一段时间内的感知数据，或者具有高相关性的简单冗余数据，包括计算总和 sum、平均值 average、最大值 max 等，目的在于减少传输的数据量。同时，数据收集和数据聚集可以减弱错误数据对最终结果的影响，实现容错功能。

在网关 / 基站层面，一个网关可接收多个传感器传输的数据，在数据融合过程中进行容错时判断节点或者节点集合是否出现数据错误。节点数据错误的表现形式是感知数据与事件值之间存在很大的差异，可通过节点数值与群体节点值的比较，同时根据节点可信性和故障率，并依据网络主要参数的变化，在数据融合过程中决策节点是否出现数据错误。

2. 基于线性回归的智能变频采样感知技术

大多数传感器采用等频采样的模式进行数据采集，而处于正常范围内的传感器数据往往具有较小的信息含量，采用传统等频采样方法会导致传输能耗过大、传输数据冗余等问题。变频采样机制能够根据所监测环境中的信息反馈，动态调节传感器网络中各节点的采样频率，减少冗余数据的传输，从而实时、准确地检测输电线路上的外界环境变化。

传感器采集到的微气象等环境数据随时间发生变化。根据先前的数据信息建立预测模型，得到一个预测数据置信区间后，如果现有数据点都位于置信区间中，就预测下个

数据也在其中。例如，温湿度在一定时间内会保持稳定，预测的下一数据大部分也在预测区间内。

对于随时间变化迅速的环境信息，如果在某时刻，传感器采集的数据分布情况开始变化，监测到的数据落在了置信区间之外，节点就认为外界情况开始发生改变，数据曲线进入波动段，原来的线性预计模型就不再适用。于是，传感器增大自身的采样频率，以获得更多数据来建立新的预计模型。如果数据落在置信区间内，表明目前的数据波动不大，较为稳定，预测模型符合实际，仍然有效，传感器会降低采样频率以节省能源。在模型中，为了保证一元线性回归模型以及置信区间的准确性，参与计算的数据点必须在三个以上。

3. 基于关联度的采集任务分解和调度技术

LoRa 网络参数数据的采集是一个长期的、周期性的工作，因此需要给基站和传感器设置采集计划，定义采集时间、采集参数、采集时间间隔、采集上报频率等。由于 LoRa 网络中存在多传感器融合系统，并且每个传感器都可接入多个网关，因此需要针对传感器采集能力、处理能力、传输能力对采集任务进行分解和分配。

首先，定义采集任务执行的周期、采集任务的重要度以及各类采集任务的执行约束（如时序约束、同步约束、父子约束、耦合约束等）关系，明确任务间关系，对复杂任务进行分解。分解后的一个采集任务应当具备的属性包括被采集的对象、被采集的性能参数名称、采集开始时间、结束时间、采集时间间隔、上报时间间隔、采集计划等。

其次，设计关联度结构矩阵，用于描述任务间约束关系。任务复杂度是度量一项任务复杂程度的标准。对于复杂度高的任务必须进行不断分解，直到其复杂度降到阈值以下，任务分解才算完成，以得到复杂度适中且符合 LoRa 网络状况的采集任务集合。

再次，根据每个采集任务中所确定的采集节点、性能参数名称、采集开始时间、结束时间、采集时间间隔、上报时间间隔，并且综合考虑对应区域中各个传感器的采集能力、处理能力和传输能力后，将采集任务分配给相应的传感器。

最后，如果采集节点出现错误，则回收该无法采集的任务，继续执行下一采集任务。

4. 智能 LoRa 嵌入式传感监测装置设计

针对高压输电线路长距离、低功耗、长寿命、抗电磁干扰的监测需求，要从数据采集能耗管理策略、数据传输能耗管理策略等方面研究装置的超低功耗设计方案，从结构防护和能量供给两个方面研究装置长寿命设计方案，从模块化、结构防护、电磁兼容三个方面研究装置可靠性设计方案。

1）基于 LoRa 技术的嵌入式传感装置超低功耗设计方案

数据采集能耗管理策略的研究主要集中在装置硬件电路的能耗最小化和软件系统的能耗最优化，针对输电线路监测装置的特点，采用软硬件结合的超低功耗设计方案，降低整机运行功耗。

在硬件低功耗设计方面，主要体现在元器件选型上。作为装置的核心器件，处理器的选择非常重要。决定处理器运行功耗的两个最主要因素是工作电压和时钟频率，所以尽量选择低电压和具备多种时钟工作模式的处理器。

在软件低功耗设计方面，由于输电线路的监测数据采集一般具有长周期的特点，致使监测装置大多数时间处于休眠或者只采样不传输状态，采用定位器和外部中断驱动事件运行的方式，让处理器在上电启动初始化之后立即进入休眠状态，再通过相应的中断唤醒处理器，并根据不同优先级的事件，选择相应的工作模式，以保证在尽可能低的时钟频率下处理响应事件。

数据传输能耗管理策略的研究主要集中在 LoRa 无线通信技术。LoRa 的物理层采用线性扩频调制技术，接收灵敏度最高可达 -148dbm，在不增加发射功率的前提下大大提高了通信距离。LoRa 射频芯片具有休眠模式、待机模式、发送和接收等多种工作模式，休眠电流小于 200nA，接收电流低达 10mA，结合有效的休眠唤醒策略，可使其平均工作电流控制在微安级。

2）监测装置长寿命设计方法

对于一些多参量监测或者数据传输周期要求高的监测装置，必须采取相应的能源获取方法结合电池提高装置工作寿命。针对特高压直流输电线路的特点，无法使用电磁感应取电的方式取能。温差取电技术可以作为一种新型特高压直流输电线路无线传感监测装置自取能技术进行研究。

温差取电是利用热点转换材料的塞贝克效应，将两种不同类型的热电转换材料 N 端和 P 端结合，并将其置于高温状态，另一端开路处于低温环境。由于高温端的热激发作用较强，空穴和电子浓度比低温端高，在截流子浓度梯度的驱动下，空穴和电子向低温端扩散，从而在低温开路端形成电势差。将许多对 N 型和 P 型热电转换材料连接起来组成模块，就可得到足够高的电压。

3）智能终端数据预处理技术

通过设计智能化 LoRa 嵌入式传感监测装置，使监测装置可以实现数据本地处理、监测装置故障自诊断、装置功耗智能管理、自适应通信调整和任务远程下载等智能功能。因此，研究智能终端数据预处理技术有助于实现监测装置的智能化。

终端设备和云中心之间的请求传输是双向的。网络 LoRa 终端不仅从云中心请求内容及服务，而且可以执行部分计算任务，包括数据存储、处理、缓存、安全保护、设备管理等。

智能终端数据预处理单元的主要任务是提供本地数据的存储和计算等核心服务，如图 5-11 所示。监测装置上传的数据包括一些正常数据、无效数据和紧急数据，其中有些数据不需要上传到云中进行存储和分析，而有些紧急数据则需要被极度重视，并进行处理和反馈。数据预处理技术既为输电线路智能检测装置提供了本地化的智能分析和反馈服务，也为云服务器提供了数据的过滤和融合等预处理计算服务。

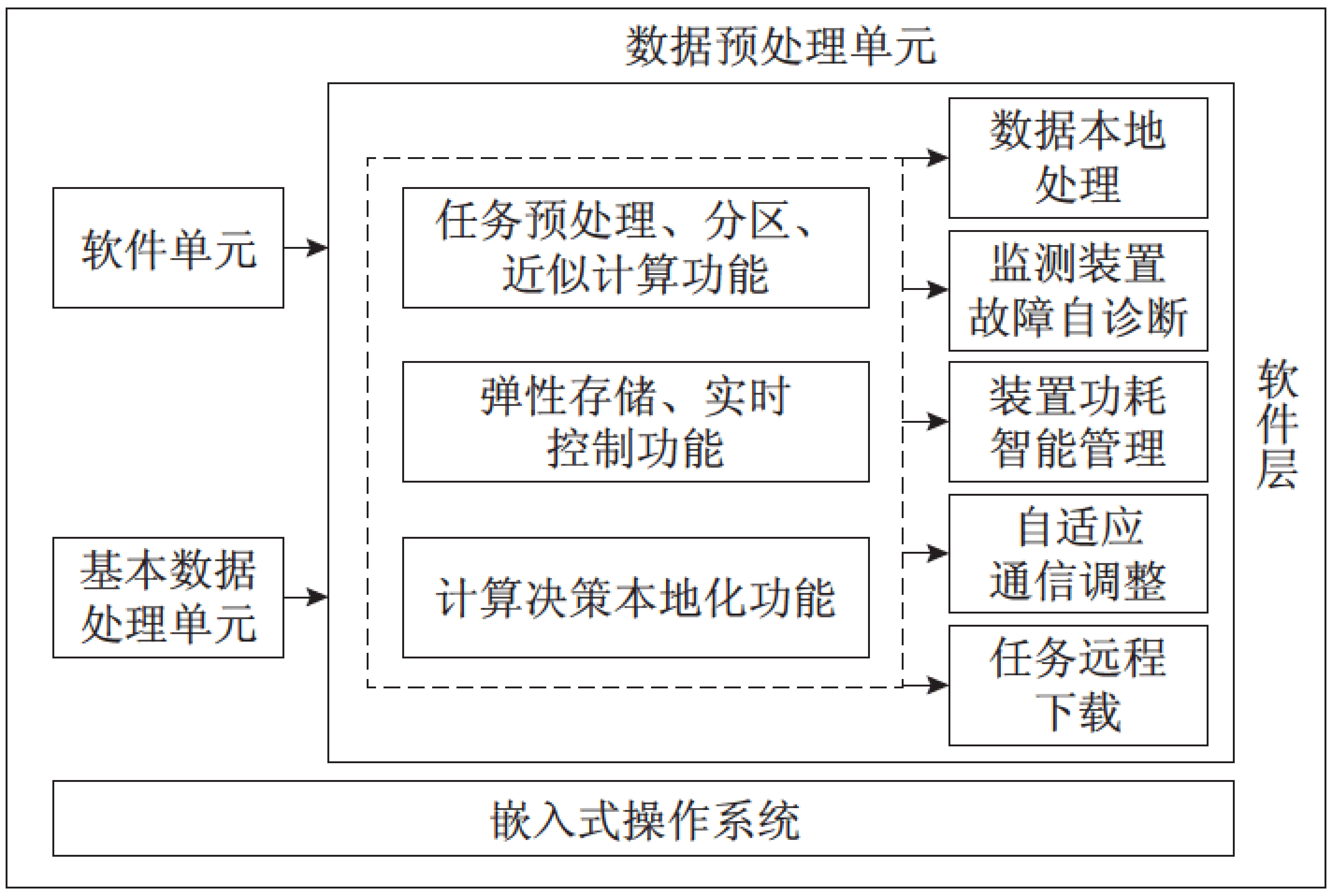


图 5-11　智能终端数据预处理单元

4）LoRa 感知终端自管理技术

为了更好地提高输电线路监测的智能化，提供灵活的资源调度机制，提出一种面向 LoRa 监测终端的自主管理架构。自主管理是指网络节点自动实现配置、优化、修复和保护等管理活动，为大量异构网络节点的运维提供一种高效、低成本的智能化管理手段。通过对 LoRa 监测终端的自主管理，可以实现终端网络中资源的优化配置。在此自主管理架构中，与 LoRa 监测终端网元和网络相关的参数配置、故障诊断与修复、性能监控与优化等组件都能以 LoRa 监测终端自主管理的方式实现。

5.3.4　输电线路传感物联监控云平台技术研究

基于 LoRa 的输电线路传感物联监控云平台实现全状态参数的输电线路故障预警、线路故障分析、监测数据挖掘分析、线路运行状态评估、线路运行环境评估等高级应用，成为指导输电线路物联监控的基础信息平台。

1. 基于 Hadoop 的物联监控云平台架构设计

考虑到智能电网是国家重要的基础设施，并且智能电网分支下的输电线路状态监测不同于搜索引擎等典型的互联网应用，谷歌的 GFS 和 BigTable，亚马逊的 EC2，以及微软的 Windows Azure 等云计算技术无法直接应用，因此本研究围绕开源的 Hadoop 技术架构展开。Hadoop 采用主 / 从架构，将数据拆分成多个数据块，分别存储到不同的存储节点上。这里采用廉价的服务器集群，借助虚拟机实现资源的虚拟化，采用分布式冗余存储系统以及基于列存储的数据管理模式来存储和管理数据，保证输电线里海量状态数据的可靠性和高效管理。另外，设计基于 MapReduce 的状态数据并行处理系统可以为状态评估、诊断与预测提供高性能的并行计算能力以及通用的并行算法开发环境。

整个基于 LoRa 的输电线路传感物联监控云平台架构如图 5-12 所示。

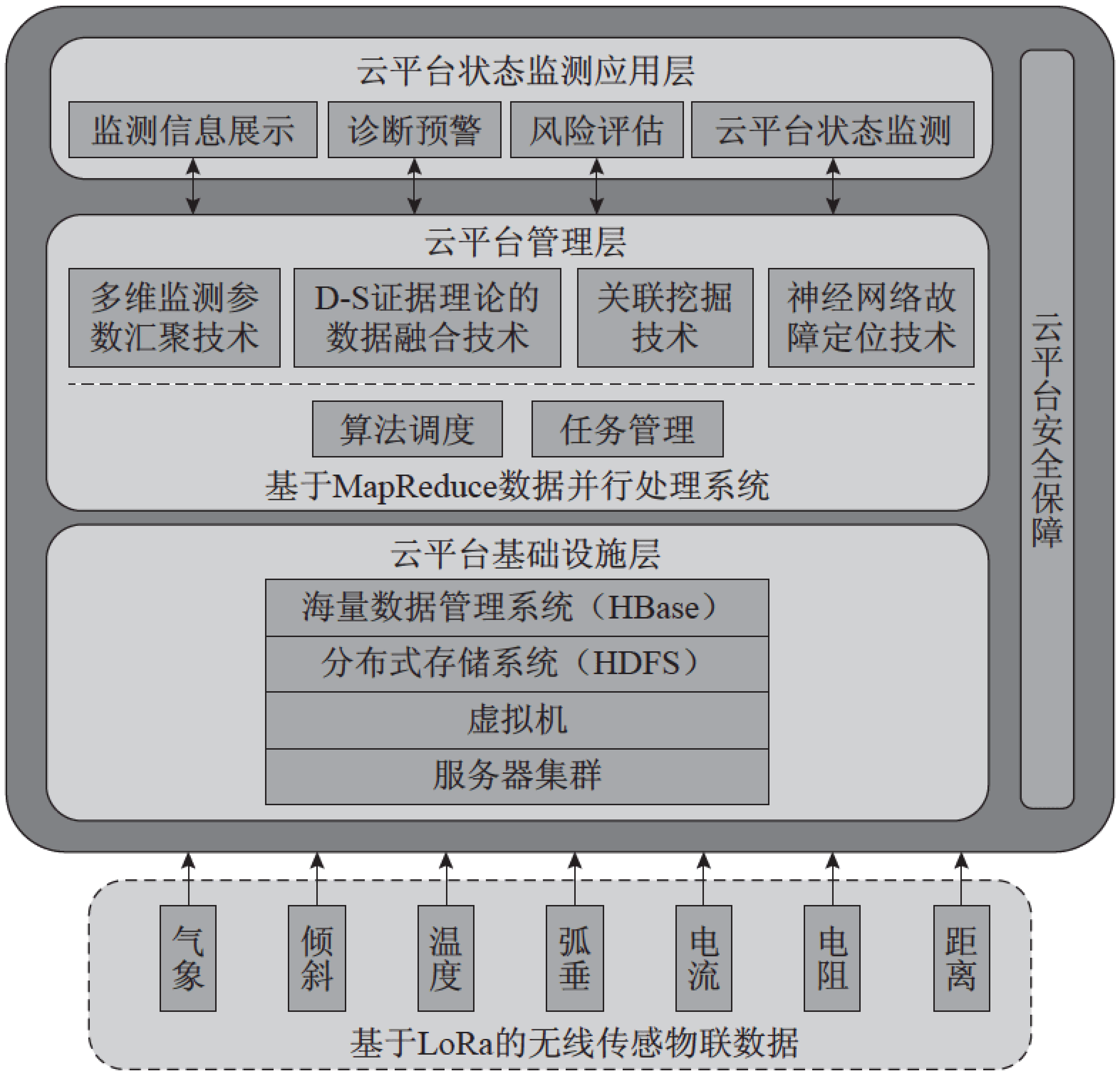


图 5-12 基于 LoRa 的输电线路传感物联监控云平台架构

整个云平台自底向上可划分为一个由云平台基础设施层、云平台管理层以及云平台状态监测应用层组成的三层体系。

1）云平台基础设施层

云平台基础设施层集合了虚拟化的硬件资源以及相关管理功能，通过虚拟化技术将计算机、储存设施、网络设施等硬件资源抽象化，呈现内部的流程自动化，并向外部供给动态、灵活的基础设备服务。本研究中的云计算基础设施层采用服务器集群和 Xen 作为虚拟机、HBase 作为海量数据管理系统、Hadoop 分布式文件系统（HDFS）作为分布式存储系统。

（1）服务器集群和虚拟机。为了充分利用目前各省或地区供电公司闲置的大量服务器资源，采用廉价的服务器集群，由于不要求服务器类型相同，可以大幅降低建设成本，并借助虚拟机实现资源的虚拟化，提高设备的利用率。

（2）分布式存储系统。廉价服务器集群虽然性价比高，但是机器故障率大，因此采用开源的分布式冗余存储系统来存储数据，保证数据的可靠性，以高可靠的软件来弥补硬件故障率大的缺陷。HDFS 作为 Hadoop 云计算平台的核心技术之一，是 Hadoop 框架的底层基础。HDFS 采用了主从（Master/Slave）结构模型，一个 HDFS 集群是由一个 NameNode 和若干 DataNode 组成的。其中，NameNode 作为主服务器，管理文件系

统的命名空间和客户端对文件的访问操作；集群中的 DataNode 管理存储的数据。HDFS 允许用户以文件的形式存储数据。NameNode 执行文件系统的命名空间操作，如打开、关闭、重命名文件或目录等，也负责数据块到具体 DataNode 的映射。DataNode 负责处理文件系统客户端的文件读写请求，并在 NameNode 的统一调度下进行数据块的创建、删除和复制工作。

（3）海量数据管理系统。智能电网使状态监测数据向高采样率、连续稳态记录和海量存储的趋势发展，远远超出传统电网状态监测的范畴。其中，智能电网中的分支输电线路监测数据量极大，可靠性和实时性要求高。不采用传统的关系数据库，而采用开源的 HBase 基于列存储的数据管理模式，来支持大数据集的高效管理。HBase 是一个在 HDFS 上开发的面向列的分布式数据库，是为大规模的可伸缩的分布式处理设计的。HBase 自底向上地进行构建，能够简单地通过增加节点来达到线性扩展，适合于实时的随机读 / 写超大规模数据集。因此，可以用 HBase 存储检索索引，提高实时检索的反馈响应时间。

2）云平台管理层

云平台管理层主要是基于 MapReduce 的状态数据并行处理系统。输电线路需要在状态数据基础上进行各种电力系统计算与应用，如状态监测、故障定位、状态评估、风险评估等。MapReduce 是谷歌提出的一个并行编程模式，用于大规模数据集的并行计算。基于 MapReduce 的状态数据并行处理系统，可以为状态评估、诊断与预测提供高性能的并行计算能力以及通用的并行算法开发环境，主要由算法调用和任务管理两部分组成。

（1）算法调度：采用插件的形式调用第三方开发者实现的各种算法，如模糊诊断、灰色系统诊断、小波分析、神经网络以及阈值诊断等。

（2）任务管理：实现基于 MapReduce 并行模型的任务管理、调度和监控系统。

MapReduce 并行算法可以跨越大量数据节点，将任务进行分割，使得某项任务可被同时分拆在多台机器上执行，能够在很多种计算中达到相当高的效率，而且可扩展。

3）云平台状态监测应用层

云平台状态监控应用层通过分析处理网络层实时传输的数据，通过海量数据建模，将实时数据投影到正常工况模型上。同时构造监测统计变量，将实时分析结果与正常工况模型比较判断，最终判断输电线路是否有故障发生，及早发现事故隐患并及时予以排除，始终保障线路以良好状态可靠运行。

（1）监测信息展示。根据输电线路及杆塔上安装的状态监测设备的类型，物联监控云平台具备以下实时在线监测功能：气象环境监测、杆塔倾斜监测、导线温度监测、输电线路覆冰监测、导地线微风振动监测、导线舞动监测等，并对传感监测数据进行不断分析、记录和处理、棒图、显示曲线、自动生成报表等，最后进行监测信息的展示。

（2）诊断预警。诊断预警服务用于通过对各类在线监测信息、离线监测信息、电网实时信息和设备基础信息的综合分析，判断线路的危险临界条件。超过临界值时，及时通过多种有效的方式向生产、运行、调度、应急指挥等部门发布报警信息，并且对报

警设备进行定位。结合气象监测、雷电定位、视频监测等状态监测信息，在出现大风、覆冰、暴雨等极端恶劣气候条件，以及受严重外力破坏、火灾、地质等线路灾害时，能及时进行灾害预警、定位，并且与应急指挥中心联动，指导抢修工作。

（3）风险评估。针对高压输电线路，尤其是重要输电走廊、大跨越等线路的主要异常与故障形式进行深入分析，云平台根据异常与故障机理和获取的各监测信号的特点，通过现代信号处理方法、信息集成分析方法以及图像处理方法的综合应用，提出线路状态量综合分析方法，并以高度可视化的形式进行表征。对已有或正在获得的输电线路状态数据进行格式化存储和管理，根据已有大量来源于生产管理的巡检、检测、缺陷等脱机数据，综合运用数据库技术、数据挖掘技术进行深层次的线路状态信息的提取，对典型的线路异常状态进行分析、预测根据，综合在线状态信息的线路状态评估结果，按相关状态检修导则，并参考线路风险评估因素，对线路部件的状态进行分类评估，为生产管理系统提供检修决策信息支持。

（4）云平台状态监测。组成云平台的集群由廉价的服务器构成，单台服务器出现宕机的情况可视为常态，因此有必要对集群各节点状态进行监控。状态监测服务利用云平台提供的系统调用接口获取集群各节点的状态、存储容量负载、并行计算任务负载等指标，供应用层调用。状态监视服务还可以实时监视数据库特定列族的状态变化，并向告警服务发出数据库状态变化的告警信息，方便自动化维护人员对数据库状态进行监视。

2. 物联监控云平台数据处理技术

1）多维监测参数汇聚技术

通过各类型 LoRa 传感器实时收集输电线路上的各类参量（如温湿度、光照、振动、倾斜、风速、加速度、电流等）。但是由于网络采集数据的多维性、复杂化会导致原始数据体量庞大。采用基于大数据平台的混合聚类算法对数据进行预处理，可减少数据融合过程的时间代价。输出的聚类结果供进一步的感知数据融合使用。基于大数据平台的混合聚类算法是在 Hadoop 平台运行实现分布式并行计算，有利于加快对海量原始数据的聚类。混合聚类算法可以由两部分组成，首先使用并行 MMK-means 算法对数据进行预处理，之后使用改进的蚁群聚类算法对预处理后的数据完成聚类运算。

2）基于 D-S 证据理论的多维参量融合技术

在复杂的 LoRaWAN 网络环境中，各传感器终端通过多个网关上传同一数据，受各类采集传感器自身制造性能以及外界环境因素的影响，采集得到的 LoRaWAN 物联网网络和业务运行数据可能存在偏差，甚至出现错误。诸多局部和片段信息很可能存在种类繁多的冲突和重叠，影响最终的决策，因此需要利用数据融合技术对这些时空感知信息进行有效的融合。

但是，由于一些原因，特别是证据间存在冲突信息时，D-S 证据理论经常得到不符合常理，甚至是错误的决策信息。究其原因，可总结为证据之间独立性不强、计算量过大、基本概率指派函数设计得太过主观以及证据冲突等问题。

因此，先将数据进行预处理，提取独立信源特征，并去除错误信息；然后利用先验知识减少焦元数量，设计基本概率指派函数；对于证据冲突问题，根据各数据源的可靠性评估各证据的权重信息，改进证据融合方法解决处理冲突证据。基于 D-S 证据理论，从底层链路、网络层和业务层等各个层次对感知数据进行分层分析和跨层汇聚融合，从而为更全面的感知输电线路 LoRaWAN 网络资源和环境信息提供支撑。

3）基于深度学习的关联分析技术

将各个传感器的返回数据通过 LoRa 通信传回，形成关联计算模型，可利用深度学习的方式处理数据并得到相应学习结果。为了对有限的资源进行合理的整合、分配和调度，首先需要对所有相关设施的资源和消耗情况进行量化估值，然后对于不同资源之间、资源与设备消耗之间以及设备与设备之间的内在关联情况进行挖掘，发现可能存在的联系或相互影响的情况，最后设定目标函数和条件，使资源得到合理的利用。其中，对内在联系的挖掘是整个过程中最重要的环节。基于统计学进行关联挖掘的技术之外，运用深度学习技术对可能隐藏的联系和资源消耗模型构造进行深层次的挖掘，使消耗系统模型能更真实地模拟实际情况，从而提高有限资源的利用率。

深度学习技术是机器学习研究中的一个新领域，其动机在于建立、模拟人脑进行分析学习的神经网络，它模仿人脑的机制来解释数据。深度学习通过组合低层特征形成更加抽象的高层表示属性类别或特征，以发现数据的分布式特征表示。不同于传统神经网络的训练方法，深度学习为了克服神经网络训练中的问题，采用了与神经网络不同的训练机制。深度学习采用的是逐层训练的方式，直到收敛。传统的神经网络中采用的是随机初始化，计算当前输出与标注的误差，根据误差调整前面所有层，直至最终收敛，这样误差传到最前面一层的时候会太小，导致梯度弥散。卷积神经网络是第一个真正的多层结构学习算法，它利用空间相对关系减少参数数目以提高训练性能。卷积网络由卷积层、池化层以及全连接层组合而成，且卷积层和全连接层都经过非线性化的处理。

卷积操作仅在每个小区域的局部感受上进行实施，这样可以减少神经元参数的个数。除此之外，卷积层还利用了权值共享，相同的滤波器作用于同一层上的每个像素点，该做法不仅在性能得到了优化，更加减少内存的占用空间。卷积神经网络相对于传统算法，不需要对数据做过多的预处理，卷积神经网络能够自主学习特征，不需要人为的设计特征来进行学习。因而卷积神经网络较传统神经网络有如下优点：权值共享策略能减少网络的训练参数，提高训练效率和减少训练时间；能够很好地拟合系统的实际结构；在训练中产生特征以及关联分析同时进行，有利于降低主观因素的影响。

4）基于神经网络的 LoRaWAN 网络故障定位技术

基于感知技术获取的多维、海量状态信息，采用深度学习神经网络进行故障综合研判。神经网络是数据驱动的，能够有效地对故障告警事件进行汇聚处理分析，通过分析引擎进行实时的事件解析、处理，将来源于不同域的节点故障信息基于规则、统计、地域等进行关联分析，并通过对海量历史的训练和智能化分析，找到告警事件发生的规律、发现告警事件之间的潜在关系。可以采用深度神经网络进行故障定位，因为其模型相较

其他机器学习方法可以学习到输入数据丰富的特征值，而且对数据的学习表达能力很强。但是当隐含层很多的时候，整个网络的学习和特征提取具有很大的挑战性。因此，需要研究和改进深度神经网络，通过隐含层学习到的特征来表征数据的结构，通过优化输入数据的似然函数对网络进行训练，从而提高神经网络的挖掘效率。

3. 物联监控云平台安全保障技术

物联网中的应用都是数据密集型的。传感设备与存储平台之间、用户与存储平台之间、用户与传感设备之间时刻都在进行数据交互，一旦数据丢失和损坏，都将造成难以预料的后果。同时，云平台是通过虚拟化技术按照用户需求来分配存储空间，实际上所有用户的数据都存放在一个相同的物理存储系统中，不再像传统存储系统一样有物理的隔离和防护边界。这种集中存放模式容易丧失有用数据在存储和传输过程中的保密性，造成信息的泄露。因此，云平台必须采取适当的安全策略来保证物联网中数据的完整性、保密性和不可抵赖性。

1）云平台基础设施安全

云平台基础设施安全的主要目的是保证数据存储的完整性和保密性。下面主要从数据备份、数据检错和纠错、设备认证机制、访问控制和身份鉴别等几个方面来阐述。

（1）备份和数据检错纠错。云平台中的物理存储设备都是一些比较廉价的商用设备，存储设备故障是一种正常现象，而不是异常。通常采用的做法是冗余备份数据，并将数据存放在不同的数据中心，以保证个别存储设备的故障不影响整个存储系统的可用性。系统能够迅速发现错误并找寻备份数据来完成数据存取访问。同时，廉价的存储设备也要求系统具有良好的数据检错和纠错技术来保证数据的正确读写。

（2）基于认证的密钥协商机制。物联网云平台架构底层可以是终端设备，也可以是传感器。密钥管理对具有网络通信能力的终端设备来说，可以解决通信网络和传感器密钥的结合问题。通信网络与传感器网络间可通过认证产生共享的密钥，传感器网关与传感器网络节点间通过传感器网络的认证获得共享的密钥，然后传感器网关将与通信网络共享的密钥转发给传感器网络中的传感器节点，使得传感器节点与通信网络间共享密钥或基于此共享密钥产生新的密钥。

（3）设备认证机制。众所周知，物联网终端设备一个最大的特点就是一般处于无人值守的情况，这容易引发终端设备被恶意损坏、不法分子非法接入物联网网络等安全问题，这客观上要求网络必须建立验证接入网络设备合法性的机制。设备认证机制是解决这一问题的重要方法。设备认证机制可以确保只有合法的物联网终端设备接入云平台，维护用户的合法利益，避免因非法设备接入带来的利益争端问题及网络安全问题。

（4）访问控制和身份鉴别技术。访问控制和身份鉴别技术可以有效地控制用户对存储资源的访问。根据用户身份的不同，云平台可以授予用户不同的访问权限，并设置相应的策略保证合法用户获得资源的访问权。这种策略可以将用户对存储系统的访问限制在一定的范围内，从而保证其他用户数据的安全性，防止越界访问。例如，登录访问

控制可以使有权用户能够登录到网络存储系统并获取存储资源，目录访问控制可以控制用户对目录、文件、存储设备的访问等。

2）云平台应用安全

云平台应用安全主要是面向用户提供一些安全手段以保证用户数据在传输、交换和存取访问过程中的安全性，防止用户数据被非法访问和泄露。应用安全常采用的安全机制有存储加密、交换加密、身份认证与访问控制和接口安全等。

（1）存储加密。在访问云平台入口对数据进行加密，保障传输的安全性，只有授权用户才能访问数据。在云平台中，各个用户的数据不是相互孤立的，各个用户之间需要时刻进行数据交换来满足物联网中的各种应用。

（2）交换加密。交换加密保证了用户数据在交互过程中的安全性，常采用的技术手段是数字信封。

（3）身份认证与访问控制机制。该机制确保授权用户在自己的权限范围内进行数据操作，从而防止非法用户对数据的访问，也可以防止授权用户的越界访问。

（4）接口安全。云平台根据物联网的不同应用需求提供不同的应用接口。接口安全可以有效地保证应用程序对存储资源的安全访问，多接口模式和加密技术可以有效地保证接口安全。

第 6 章
供用电物联网通信工程技术与应用

供用电物联网通信工程基础知识、供用电通信网网络基本功能及特点、电力数据通信网络的规划与应用、面向智能电网的电力通信网络规划设计、异构多源特征的营配信息管控平台、多介质融合的智能配用电通信关键技术应用是本章重点介绍的主要内容。

6.1　供用电物联网通信工程基础知识

智能供用电网物联网通信体系基本概念、供用电通信网网络基本功能及特点、电力数据通信网络的规划与应用是本节介绍的主要内容。

6.1.1　智能供用电网物联网通信体系基本概念

1. 多介质融合的智能配用电网通信体系模型

从支撑智能电网长远发展的需求出发，在分析比较电网通信技术的基础上，融合多种通信方式的技术特征，对满足配用电网智能化业务的通信技术多介质融合模式进行综合研究分析，并在某些地区大规模开展智能配用电通信体系创新示范工作。针对配用电网络复杂的应用场景，充分考虑配用电网通信系统的综合建设成本和经济效益预期，所以提出了满足电网长期发展的配用电网通信系统典型设计方案及全新体系模型。新的配用电网通信体系结构具有横向到边，纵向到底，层次衔接清晰，业务接入灵活，技术先进，网络安全性高，信息传输通畅，便于管理等特点。多介质融合的智能配用电通信体系模型如图 6-1 所示。

2. 配用电网络通信架构体系研究内容

电力通信网涵盖配电和用电两个重要生产环节，是实现智能电网双向数据互动的基础，是精细化智能管理的关键。配用电网具有站点多、分布广、业务多样化、运行环境恶劣等特点，如何实现配用电网信息的海量接入，而且要实现不同分区业务的安全物理隔离，是智能配用电网通信支撑的重大研究课题。

配用电网通信架构体系的研究主要包括四方面。一是全面分析电力通信接入技术方案、业务支持以及方案的运营经济效益；二是分析智能配用电网多介质通信技术的大规模融合组网、即插即用接入、信息安全体系建设和物理隔离技术；三是进行专项规划并开展实现配用电自动化和用电信息实时采集的示范项目，通过客观而详实的试点数据和测试报告，通过研究、开发及示范系统的建设，促进电力系统通信手段的创新；四是为

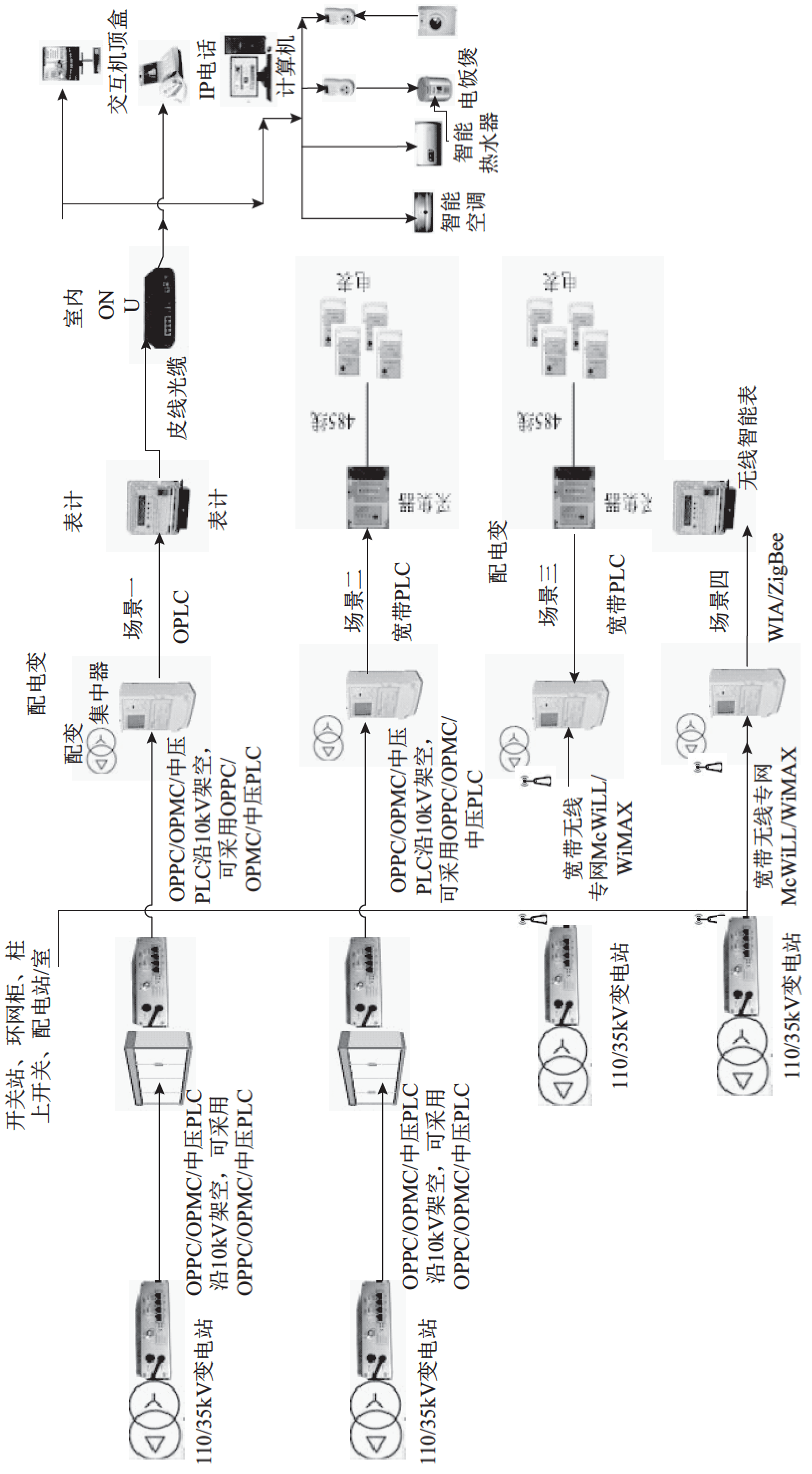


图 6-1 多介质融合的智能供用电信息通信体系模型

国家智能电网的通信网规划和建设提供理论基础和实践依据。

3. 配用电网通信性能要求

由于配用电网设备分布点多面广、缺乏监控设备，在电网规模不断扩大和结构日益复杂化之际，大量配电设备需要进行实时监控，需要远程自动数据采集，因此最重要的就是传输通道要满足配用电自动化的性能要求，主要体现在以下几个方面。

1）可靠性

配电系统的通信设备大多暴露在室外，要有承受恶劣气象条件的能力，又要有抵抗电磁干扰的能力，还要考虑到维护方便。

2）经济性

在满足可靠性的前提下要提高系统性价比，既要考虑选择合适的通信方式和设备，又要估算长期使用和维护的费用；并且要易于建设、易于使用、易于维护。

3）通畅性

数据传输速率要同时满足现在建设和将来扩建的要求。在设计通信方式的时候，还必须留有足够的带宽，以满足将来配用电系统扩建的要求。

4）独立性

要求配用电网的调度自动化功能和故障区段隔离及恢复正常区段供电的功能，即使在停电的区域通信仍能正常进行。

5）灵活性

通信系统要能方便地覆盖到新的配电网络区域以及兼容新的通信手段。

6.1.2　供用电通信网网络基本功能及特点

1. 电力通信

电力通信主要为电网的自动化控制、商业化运营和实现现代化管理服务。它是电网安全稳定控制系统和调度自动化系统的基础，是电力市场运营商业化的保障，是实现电力系统现代化管理的重要前提，也是非电产业经营多样化的基础。

为了实现跨区域、长距离电能的输送，电力系统建设了遍及各地的高压输电线路；为满足城乡广大民众生产生活用电需求，又有纵横交错、密布街道村庄的输配电杆路和沟道。

可以说，高、中、低压输配电线路是目前覆盖面最广的网络基础设施，而且它的基础坚固，较之其他网络（如电信、广电网络等）有着更高的可靠性。因此，充分利用电力系统这一得天独厚的网络资源，是长期以来人们潜心研究的一个重要课题。

电力通信是为满足电力系统运行、维修和管理的需要而进行的信息传输与交换。电力系统为了安全、经济地发供电，合理地分配电能，保证电力质量指标，及时地处理和

防止系统事故，就要求集中管理、统一调度，建立与之相适应的通信系统。因此电力系统通信是电力系统不可缺少的重要组成部分，是电网实现调度自动化和管理现代化的基础，是确保电网安全、经济调度的重要技术手段。

2. 电力通信网

电力通信网是电力系统专网。通信网与电网的紧密结合，使通信网成了电网运行不可分割的一部分，通信网稳定与否直接影响电网的安全运行。根据实际发展需求，通信网建设时应注重网架结构的规划，做到网架结构坚实可靠、层次分明、结构合理，做好电网的有力支撑。电力通信网网络结构层次为：光纤为基础物理网，其上为 DWDM/SDH 层；采用 MPLS/VPN 技术的分组数据网直接落在 SDH 网络上；在 SDH 和数据网络上开展所有用于生产、经营管理和其他方面的业务。

1）电力系统通信的重要性和特点

由于电力系统生产的不容间断性和运行状态变化的突然性，要求电力调度通信高度可靠，传输时间十分迅速，因此需要建立与电力系统安全运行相适应的专用通信网。对于在系统运行中具有重要意义的发电厂、变电所尚应保证能有互为备用的通信通道。

2）电力系统通信的主要内容

电力系统中信息的内容是多种多样的，经常传递的信息有：电话、调度电话和管理电话；远动和数据信号；远方保护信号；传真；计算机通信；系统运行状态图像信息；水电站水库、水情、工矿信息等。随着调度自动化和企业生产管理水平的不断提高，所需传输的信息内容还在不断增加。

3）电力系统的通信方式

（1）电力线载波通信。这种通信方式利用架空电力线路的相导线作为信息传输的媒介。这是电力系统特有的一种通信方式，具有高度的可靠性和经济性，且与调度管理的分布基本一致。它是电力系统的基本通信方式之一，也是电力系统的主要通信方式。由于可用频谱的限制，这种通信方式不能满足全部需要，通信频率为 300bpt、600bpt、1200bpt。

（2）微波中断通信。这种通信方式是在视距范围内以大气为媒介进行直线传播的一种通信方式。这种通信方式传输比较稳定可靠，通信容量大，噪声干扰小，通信质量高，宜作通信干线。其主要缺点是一次投资大，电路传输有衰减，远距离通信需要增设中继站，当地形复杂时，选站困难。

（3）光纤通信。这种通信方式利用光波作为传输媒介，借助光导纤维进行通信。光纤通信具有通信容量大、通信质量高、抗电磁干扰、抗核辐射、抗化学侵蚀，重量轻、节省有色金属等一系列优点。

（4）音频电缆（又称电力专线）。音频电缆由多根相互绝缘的导体，按一定的方式绞合而成，其外面包有密闭的外护套，必要时还有外护层进行保护。音频电缆是联系调度所与载波终端站的中间环节，也是调度所与近距离发电厂、变电所之间的主要通信

方式。

3. 光纤通信技术

由于光纤通信具有抗电磁干扰能力强、传输容量大、频带宽、传输衰耗小等诸多优点，它一问世便首先在电力部门得到应用并迅速发展。除普通光纤外，一些专用特种光纤也在电力通信中大量使用。

电力特种光纤泛指 OPGW（光纤复合地线）、OPPC（光纤复合相线）、MASS（金属自承光缆）、ADSS（全介质自承光缆）、ADL（相 / 地捆绑光缆）和 GWWOP（相 / 地线缠绕光缆）等。目前。在我国应用较多的电力特种光缆主要有 OPGW 和 ADSS。

1）光纤复合地线

光纤复合地线（Optieal GroundWire，OPGW）又称地线复合光缆、光纤架空地线等，指在电力传输线路的地线中含有供通信用的光纤单元，即架空地线内含光纤。它使用可靠，不需维护，但一次性投资较大，适用于新建线路或旧线路更换地线时。

它具有两种功能：一是作为输电线路的防雷线，为输电导线抗霄闪放电提供屏蔽保护；二是通过复合在地线中的光纤来传输信息。OPGW 是架空地线和光缆的复合体，但并不是它们之间的简单相加。

OPGW 缆除满足光学性能外，还完全满足架空地线的机械、电气性能要求，因此可用于所有具有架空接地线的输配电线路。光纤单元被置放于保护管内或金属骨架内，得到了充分的保护，使光纤具有很高的可靠性和安全性。OPGW 应用于新建线路时，并不增加建设费用。

OPGW 是一种高技术产品，近几年国外对该产品的研究取得了很大进步，所以我们还有很多工作要做。同时，国内对 OPGW 的需求日益增加，这一切都预示着 OPGW 光明的前景。

2）光纤复合相线

在电网中，有些线路可不设架空地线，但相线是必不可少的。

为了满足光纤联网的要求，与 OPGW 技术相类似，在传统的相线结构中以合适的方法加入光纤，就成为光纤复合相线（OPPC）。但从设计到安装和运行，OPPC 与 OPGW 有原则性的区别。

OPPC 充分利用电力系统自身的线路资源，避免在频率资源、路由协调、电磁兼容等方面与外界的矛盾，是用于电力通信的一种新型特种电力光缆。20 世纪 80 年代，一些国家允许将 OPPC 用于 150kV 以下的电力系统中，并已经在欧洲、美洲等地广泛架设运行。目前，它已经在更高电压的电力线路得到应用。

在我国现行电网中，35kV 以下的线路一般采用三相电力系统传输，系统的电力通信则采用传统的方式进行。如果用 OPPC 替代三相中的一相，形成由两根导线和一根 OPPC 组合而成的三相电力系统，不需要另外架设通信线路就可以解决这类电网的自动化、调度、通信等问题，并可大大提高传输的质量和数量。

3）全介质自承光缆

ADSS 光缆在 220kV、110kV、35kV 电压等级输电线路上广泛使用，特别是在已建线路上使用较多，为电力部门直接利用高压输电线杆塔建设自己的通信网络提供了可行的途径，适用于跨越江河、山谷、雷电集中区域以及特殊拉力环境中的架空敷设。

在数据通信高速发展的今天，凭借 ADSS 光缆的支持，电力部门不但可以满足自身的通信要求，而且能够开通新的通信业务供外界使用。ADSS 光缆具有卓越的光纤传输性能、光缆机械性能和环境性能，可与高压电力传输线同杆架设。

电网通信最完美的传输介质用于电力系统，且在强电场环境中光缆传输信号不会受到任何干扰，通信量不受任何影响，光缆质量不受任何影响，APSS 是电力通信最为有效、方便的传输方式。

6.1.3 电力数据通信网络的规划与应用

电力是日常生活和工作中必不可少的一部分，必须加强对电力系统的管理和控制，确保电力系统能够有效安全地运行。电力数据通信网能够有效地确保整个电力系统安全稳定地运行，所以应该加强对电力数据通信网的研究和管理，提高电力数据通信网的可靠性，使其能够更好地为我国的电力系统服务。

当前，我国电力系统中光缆已经得到了广泛应用，尤其是随着光缆技术的不断成熟，光缆在电力系统中发挥的作用越来越突出了。当前，我国电力系统中使用较多的是 OPGW 光缆。这种光纤的使用极大地提高了电力系统数据通信网的传输效率，并且有效地提高了传输的安全性，当然这也和智能光网络的应用存在密不可分的关系。

1. 智能光网络的概念

智能光网络是当前电力系统中较为先进的一种网络系统。和传统的网络系统相比。智能光网络具备独立的控制平台，因此，采用智能光网络能够针对不同传递速率的信号进行传递，并且能够传递一些带有特殊信号的信息，在当前电力数据通信网中发挥着重要的作用。具体而言，智能光网络的优势主要体现在三个方面。

（1）动态分布式的重路由结构。在这种结构中可以有效地保障重点部位网络的正常运行，因为即使这一部位出现一定的故障影响了正常的传输，也会因为这种动态化的设定使得空闲的一些网络资源自动应用到这方面来确保重点部位的正常运行。因此，这种设置能够有效确保网络运行的稳定性，并且能够在很大程度上提高网络资源的利用率。

（2）智能化的端到端配置，在智能光网络内部，端到端之间的配置全部实现了智能化，利用智能化技术来提升网络运行的效率。

（3）动态分配网络资源。这种动态化的资源配置设定能够在很大程度上满足用户的不同需求，提高用户对网络资源的利用率。

2. 智能光网络的关键技术

智能光网络的主要技术包括5个。

（1）路由技术。智能光网络的路由技术是最为关键的一项技术，其具体分为域内路由和域间路由两种协议类型，在不同的状况下可以采取不同的路由类型。

（2）信令技术。智能光网络中的信令技术改变了原有传统网络对信令重视不足的现状，充分利用信令来完善整个的网络系统。

（3）自动发现技术。该技术主要是指智能光网络能够自动识别一些不同种类的信号以提高网络的运行效率。

（4）链路管理技术。该技术主要是用来加强对点对点之间的链接进行信息传输的控制和管理，提高信息传递的效率。

（5）生存技术。该技术的运用能够在极大程度上缩短网络系统发生故障后到网络系统重新运行之间的时间，快速使网络恢复运行，避免更大故障的发生。

3. 智能光网络在电力数据通信网中的应用

智能光网络的优势十分明显，我们理应把这种优势合理地利用到电力数据通信网中来。当前，我国的电力数据通信网对智能光网络的应用主要体现在以下两个方面：

（1）在集中控制系统中，智能光网络的运用可以有效地为电力数据通信网提供一个动态的、灵活的智能芯层，进而提高电力数据通信网的运行效率，并且这种动态化的配置还能够有效地提高电力数据通信网中的资源利用率，使得数据服务层之间的连接实现真正的自动化。

（2）智能光网络在电力数据通信网中的运用还体现在信号机制的建立上，尤其是信令的使用进一步提升了电力数据通信网的质量，实现了整个电力系统的平稳安全运行。

4. 提高电力数据通信网络的可靠性

随着我国电力应用的逐步增多，电力系统所面临的压力也在逐步增大，这也就给电力数据通信网提出了更高的要求和挑战。面对这种压力，电力数据通信网必须提高自身的可靠性，才能够满足当前人们对电力系统的各种要求。

（1）电力数据通信网可靠性指标。电力数据通信网的可靠性指标可以参照安全性指标进行分析，具体来看，可以分为应用层、业务层和设施层三个不同的层级。

（2）做好网络管理系统。网络管理系统是整个电力数据通信网的重要组成部分，网络管理系统的有效运行能够在很大程度上确保电力数据通信网的安全。提高电力数据通信网的可靠性，尤其是网络管理系统中的故障管理功能能够及时有效地发现并且处理电力数据通信网中发生的各种故障，即使处理不了，也能够及时进行报警并交由专业人员进行处理，有效避免了长时间发生故障的可能性。

（3）加强维护运行管理。网络的维护对整个电力数据通信网来说具有重要意义。电力数据通信网维护到位就能够有效地避免很多事故的发生，有效提高电力数据通信网

的可靠性，因此，我们应该加强对电力数据通信网维护运行的管理，尤其是要提高网络维护运行管理部门的办事效率，明确每一个员工的具体职责。

（4）加强对网络运行环境的管理。电力数据通信网络的有效运行必须依靠一定的环境，而网络运行环境对电力数据通信网的可靠性也存在较大的影响，尤其是电力数据通信网中机房和光缆所处的环境对电力数据通信网的影响最为重要。此外，周围环境中自然条件的变化也会对电力数据通信网的运行产生影响，甚至会导致电力数据通信网运行故障的发生。所以应该加强对网络运行环境的管理和控制，有效避免周围环境对电力数据通信网的不良影响。

6.1.4 电力营销系统市场化发展战略

1. 电力营销发展机遇与挑战

1）营销发展面临的机遇

（1）国家积极推行能源消费革命。我国《能源发展战略行动计划（2014—2020年）》提出，到2020年全国煤炭消费比重降低至62%以下。同时，环保形势异常严峻，国家下决心花大力气治理大气污染，消除雾霾影响，对促进清洁能源发展提出了更加现实、更为紧迫的需求。绿色能源、节能环保要求为公司拓展电能替代、实施节能服务提供了广阔空间。

（2）全力推动创新驱动发展战略。国家层面，大力实施“互联网+”战略，开发利用网络化、数字化、智能化等技术。公司层面，公司特高压、智能电网实现“中国创造”和“中国引领”，积极构建全球能源互联网，需要公司加快新技术与传统业务融合，积极拓展用户增值服务，不断创新业务模式，拓展服务渠道，丰富服务内涵，改善客户体验，进一步增强公司营销竞争力。

2）营销发展面临的挑战

（1）国家经济结构优化调整对售电市场发展带来挑战。“十三五”期间，我国将进一步加快经济发展方式转型，持续加大节能减排力度，传统产业结构面临深度调整，公司售电量增速将进一步放缓。同时，资源综合利用自备电厂发展迅猛，数量进一步增加，对公司售电市场的巩固和发展带来潜在风险，影响公司市场占有率的提升。

（2）营销管理需要持续强化。“十二五”期间，通过“三集五大”体系建设，公司全面确立了新型现代电网管理体系，“大营销”体系实现了全覆盖。面对公司“十三五”发展对营销专业化管理的高标准高要求，“大营销”体系建设仍需持续深化提升。

（3）电力体制改革对营销管理带来巨大冲击。电力体制改革将按照“管住中间、放开两头”的体制框架，有序向社会资本放开配售电业务，营销传统业务模式将被打破，公司将面临优质客户流失、市场份额下降等风险，部分营销人员面临分流转岗问题。针对竞争性售电市场，要深刻转变营销观念，拓展客户内涵，丰富服务策略，利用公司优势，

开展服务竞争，全面满足社会民生基本需求，确保经营绩效和优质服务。

（4）营销发展需要努力改进的主要问题。立足经济发展新常态和电力体制改革，进一步强化以客户为导向的大营销理念，全面提升售电服务质量和市场竞争能力，努力解决基层服务薄弱、市场开拓能力低的问题；立足“互联网 +”、大数据分析、智能电网等新兴技术，努力解决创新不足，智能化技术应用亟待提升的问题。“十二五”期间，公司无偿上划了 853 个控股、代管县公司，由于历史沿革、地域条件、管理基础等原因，代管县公司在营销人员学历专业结构、素质结构、年龄等方面仍然存在结构性矛盾问题，人员素质能力、营销服务水平和创新管理亟待提升。

2. 电力营销系统市场化发展目标

适应电力体制改革和经济发展新形势，紧抓公司全面构建全球能源互联网战略机遇，全面深化以客户为导向的大营销管理机制和优质服务理念，推动营销“理念、机制、服务”转变。坚持客户导向，营销理念从专业技术型向服务运营型转变；坚持市场方向，营销机制从内部职能管理向专业化体系化运营转变；坚持服务创新，建立“互联网 + 电力营销服务”模式，营销服务从客户需求导向向客户体验导向转变。进一步强化营销管理创新意识，以创新理念和创新模式支撑营销管理整体水平提升。

6.2　智能供用电物联网通信工程技术设计

面向智能电网的电力通信网络规划设计、异构多源特征的营配信息管控平台、智能电力营销一体化模型建立是本节介绍的主要内容。

6.2.1　面向智能电网的电力通信网络规划设计

电力系统通信网是电网的重要支柱，是确保电网安全、优质、经济运行的重要手段，也是智能电网的基础支撑。

1. 通信电源

电力通信电源作为电力通信系统的关键设备，特别是在智能电网中，通信电源系统运行质量的好坏直接关系到通信网的安全和运行质量。一旦出现因电源故障造成通信设备停运和电路中断，对电网安全运行将是极大的危害，甚至产生严重的后果。因此，智能电网通信电源的管理和维护应值得重视。

在智能电网中，以先进、集中、自动化的管理维护方式管理通信电源是必然的趋势。采用先进、可靠性高的电源电池和稳定的供电方式对构建强大的通信供电系统尤为重要。

在通信电源供电系统中，一般采用 DC-DC 转换器对通信设备供电。蓄电池可采用免维护电池，寿命长且密封性较好。建议采用双蓄双充模式，可适当加大直流蓄电池组的容量，采用两组 DC-DC 转换器为通信设备供电，可以保证通信设备供电可靠性。在保证通信设备安全可靠供电的同时，不仅降低了设备投资，实现了资源共享，还可降低工作人员的维护量。

2. 数字变电站通信需求及满足

数字化变电站的基本概念为变电站的信息采集、传输、处理、输出过程全部数字化，基本特征为设备智能化、通信网络化、模型和通信协议统一化、运行管理自动化等。

伴随着网络通信技术的发展，数字化变电站乃至数字化电网的逐步建立，为构建智能电网的建设提供了技术基础。

初步统计，国家电网公司系统已有 70 多座数字化变电站投入运行，在数字化变电站研究和应用领域取得的成果，使在变电站一次设备、变电站通信网络等方面具备了建设智能电网的条件，对智能电网的发展将起到重大推动作用。

推广数字化变电站，促进电网的智能发展，需要考虑现有通信网络改造和构建新兴通信网络，以满足变电站的数字化建设。

1）通信开放、标准化

数字化变电站的主要一次设备和二次设备都应为智能设备，这是变电站实现数字化的基础。智能设备需具备可与其他设备交互参数、状态和控制命令等信息的通信接口。

构建开放的通信架构，形成一个“即插即用”的环境，使电网元件之间能够进行网络化的通信。

统一技术标准，它能使所有的传感器、智能电子设备（IED）以及应用系统之间实现无缝的通信，即信息在所有设备和系统之间能够得到完全的理解，实现设备与设备之间、设备与系统之间、系统与系统之间的互操作功能。这就需要电力公司、设备制造企业以及标准制定机构进行通力合作，才能实现通信系统的互联互通。

2）通信网络化

数字化变电站内设备之间的连接全部采用高速的网络通信设备，通过网络真正实现资源共享，并要求通信具备实时性、安全性。

目前的通信需求是系统物理量的传递，主要是四遥，即遥测、遥信、遥控、遥调。测量数据、遥控命令等都要求实时传送，一旦出现故障，则需要传送大量的数据，要求信息能在站内通信网络上快速传递。

通信的安全问题也是至关重要的，可采取只读访问以及密码和防火墙等策略。

3）信息集成化

高速通信系统使各种不同的智能电子设备（IEDs）、智能表计、控制中心、电力电子控制器、保护系统以及用户进行网络化的通信，同时，这中间产生的数据和信息都集中采集、统一传送，实现电网信息的高度集成和共享，采用统一的平台和模型，实现标

准化、规范化和精细化管理。

3. 信息管理

智能电网的构建，有主网和配网统一协调管理的趋向。从数千个节点的数据采集到数十万个节点数据采集，大量的数据如何进行有效的管理，是重点解决的问题。数据信息的管理可从数据采集、数据传输、信息集成、分析优化和信息展现五个方面入手。

1）数据采集

在实时数据采集上，智能电网大大扩展了监视控制与数据采集系统（SCADA）的数据采集范围和数量，提高了电网的“可视化”。智能电网的实时数据主要包括三类，分别为电网运行数据、设备状态数据和客户计量数据。电网企业应该加强对设备状态监测数据和更加详细的客户计量数据的采集，为企业提供更多有价值的信息和更有力的决策支持。

设备状态数据的采集有利于推进电力行业设备状态检修的发展。设备状态数据的获取是状态检修和状态评估的重要基础。同时，电网企业应该根据不断更新与变化的设备情况，花大力气制定和更新设备状态评估的标准。

2）数据传输

智能电网需要采集大量的设备状态数据和客户计量数据。这两类数据的特点是：数据量大，采集点多且分散，对实时性要求比电网实时运行数据低，数据需要被多个系统和业务部门使用。

在智能电网中，对这部分数据的采集是采用基于开放标准的数字通信网，即基于 IP 的实时数据传输方式。它是基于开放标准（TCP/IP）的数据网络通信，提供协议转换器，可以兼容现有设备，多通道共用，提高通道利用率。多通道容量可以被其他数据通信利用，更适合大量的设备状态数据和计量数据的采集。采用基于 IP 的实时数据传输，各后台系统通过订阅方式直接获取所需数据，减少了数据通道压力，避免在实时系统和管理系统之间开发多个数据接口，有利于实现实时数据的共享。

3）信息集成

针对电力企业已经存在的信息“孤岛”和“烟囱”问题，智能电网尤其强调建立企业信息总线（ESB），实现企业级信息集成。在智能电网中，需要集成的信息包括自动化系统的实时数据、电网公司内部管理应用系统产生的管理数据、外部应用系统数据。为了实现企业级的信息集成，需要建立企业信息集成总线，实现应用系统之间的数据流动，各应用系统的数据集成到统一的分析数据仓库。企业信息集成总线中信息交换以及数据中心数据模型参照 / 遵循 CIM 标准。

4）分析信息

信息分析是智能电网的核心内容，是电网智能化的根本体现，有利于支持电网企业的业务改进与创新。数据分析的水平很大程度上取决于信息集成程度。根据智能电网信息集成程度，将分析优化分为四个层次：实时事件、闭值、通知、屏幕显示、邮件、传呼；

指标计算、趋势分析；数据分析、事件的实时或事后诊断处理、数据挖掘；高级优化、业务建模和规划、决策支持。

针对电网企业的不同业务主题，建立完整的分析结构层次，指导对数据的深度利用；电网企业内部不同层次的人员，可以从这个完整的分析结构中订阅自己需要的分析功能；这样一个分析结构层次中，实际上包含了电网企业的重要运营和管理指标体系，能够清楚地表征电网企业的整体运营状况。

5）信息显示

通过门户系统，能够从多个数据源获取数据，将经过分析优化处理后的信息，以用户定制的门户和仪表盘方式呈现给用户。门户系统为用户提供一站式信息访问，不同层次的用户获得自己关注的信息，用户能够配置需要显示的信息和表现方式，还能够实现对分析结果的企业级分发。

6）信息的安全管理

电力系统存在大量的数据信息，包括发电商、电力企业、电网、用户的资料信息。在智能电网中，必须明确各个主题的权限和保护程度，确保各个利益主体的切身利益。信息传输过程必须能抵御外部干扰和恶意的窃取，加强主动实时防护和信息的安全存储、网络病毒防范、恶意攻击防范、网络信任体系与新的密码等技术。

6.2.2 异构多源特征的营配信息管控平台设计

1. 目的与意义

为进一步整合资源，畅通营销、运检等专业工作协同，促进营销、运检等部门在提升客户服务品质上形成合力，开展营配贯通业务应用建设，实现企业服务质量和服务能力的提升。营销和运检专业的信息化建设已基本完成，建成了覆盖全网的生产管理信息系统和中低压设备电网 GIS 平台、省级集中的营销业务应用系统和超大规模用电信息采集系统。在营配贯通方面，也进行了多方面的尝试，统一建设了配网生产抢修指挥平台，实现了故障抢修营配联合调度业务应用。

搭建基于异构多源特征的营配合一业务管控平台，开展营配数据集成及协同应用建设，达到消除专业信息壁垒，畅通营、配、调专业协同，提升营配一体化运作效率和跨专业的客户协同服务能力，促进以客户为导向供电服务机制形成，提升客户诉求响应效率，并支撑公司配网规划、线损精益化管理等业务开展的目的。

2. 关键技术

1）营配一体化的电网及用户模型

营配贯通数据存放于营、配、调专业各独立的异构系统中，缺乏统一的数据模型，未形成一张完整的“站—线—变—箱—户”数字化动态电网；各系统中同一设备信息不

一致；系统内数据与现场设备实际信息不一致。

基于 IEC 61970 定义了中低压配电网资源、拓扑及量测等模型，基于 IEC 61968 定义了中低压配电设备资产、用户、表计等模型。明确低压台区与配变的关系，从 35kV 专变与用户、10kV/20kV 专变与用户、营配公变、配变与表计四个方面建立配电网与用户的关系模型。由于 PMS 系统及营销系统均已分别在生产实际中使用，本项目开发了存量数据对应工具及检查、考核工具，同时通过对原系统的改造实现新增数据的同源管理。

2）基于 IEC 61970/IEC 61968 的企业应用集成架构

为支撑各项营配业务应用集成的业务开展，一方面建立了营配一体化建模的数据中心。通过构建营配贯通数据中心，实现各异构系统间营配数据有效集成；搭建基于面向服务的体系结构 SOA 的应用集成基础架构，实现营配协同应用集成。另一方面遵循 IEC 61968 和 IEC 61970 分别规范了配电管理系统和能量管理系统的应用程序接口。引入基于 IEC 61970/IEC 61968 消息传递模式的企业应用集成架构，规范了电力企业应用集成的消息传递模式，作为电力企业应用集成的标准，规定了不同系统和不同主体能够相互识别与交换信息、协调运行，接口协议和通用信息模型（CIM）等方面的规范，从而帮助实现系统之间的无缝衔接对不同结构系统的整合，达到智能电网模型高度统一和信息深度融合的集成特征。

3）空间大数据前端展现技术

营配贯通业务应用中使用的 95598 工单、故障设备、异常设备和欠费用户等信息的数据量都比较大，需要在地理信息系统上进行展现。但由于富客户端技术的一些限制，Flex 应用显示 1000 个图形对象以上就开始明显卡顿，使得用户体验比较差，难以进行正常的业务操作。采用前端数据缓存 +Rtree 空间索引相结合，可以实现空间数据的快速拾取。其前端数据缓存是富客户端的特有技术，可以将大量数据存储在前端内存中，极大提高访问速度。Rtree 是一种高度平衡树，采用空间对象的 MBR 来近似表达空间对象，根据地物的 MBR 建立 R 树，可以直接对空间中占据一定范围的空间对象进行索引。在显示空间对象时，首先根据显示范围在 Rtree 中检索对象引用，然后以此从前端数据缓存中得到对象详细信息，在进行显示处理，这样对 10000 个空间对象的显示，可以控制在 0.5s 内。同时采用空间动态聚合技术实现对大密度数据的集中表达，即采用数量表示同一个点或同一范围内的多个空间数据。首先，将可视范围的空间数据采用快速拾取技术得到，然后，以各个空间数据间距离进行递归合并计算，得到最后的显示效果。

4）基于 BlazeDs 的高可靠性消息系统

为满足实时数据的时效性要求，采用 BlazeDs 消息服务。BlazeDS 是一个基于服务器的 Java 远程调用和 Web 消息传递的技术，使得后台的 Java 应用程序和运行在浏览器上的 Flex 应用程序能够相互通信，很好地解决了事件消息的实时传递问题。BlazeDS 也具备了一定的故障恢复能力，能够应对短时间的网络中断情况，但其可靠性离实际业务要求仍有较大的距离。为此，在 BlazeDS 消息服务基础上提出了一种具备多机容错、中

断继传功能的高可靠性消息系统的设计。

5）基于可开放容量的供电电源搜索技术

引入了基于可开放容量的电源搜索技术，利用电网 GIS 平台提供的可视化的图像地理信息，准确快速地确定出客户的报装目标位置信息，再根据该客户的业扩申请信息中的报装容量和电压等级等信息自动匹配电源搜索模板，搜索附近可开放的电源信息。当有可用电源时可快速答复客户供电方案，当无可用电源时发送协同消息告知生产部门。可开放的电源信息是利用智能公变终端的设备可开放容量信息和营销业务应用系统的在途业扩工单信息综合计算得出。

（1）可开放容量信息发布。可开放容量的系统自动计算仅基于公变及其线路的历史负荷进行估算（线路可开放容量计算包括业扩已答复供电方案用户的接入容量），不包括已列入计划的新增公变接入容量、运行方式调整引起的最高负荷失真、周边发展成熟度、规划等因素。可开放容量的发布基于可开放容量余量的发布。

（2）电源点搜索技术。在供电方案辅助制定环节，系统利用 AutoComplete 方法，根据该客户的业扩申请信息中的报装容量和电压等级等信息与电源搜索策略模板中的容量与电压信息自动匹配，确认当前报装用户需要搜索定位的设备对象，包含对应类型的环网柜、开闭所、配电中压杆塔等，还有搜索数量、最大搜索半径以及搜索频度半径信息。

以用户报装位置为中心点，利用元搜索技术、向外发散进行搜索。利用 GIS 地图服务，在搜索过程中获取当前覆盖范围内的电网设备信息，通过与用户搜索对应进行对比，判断是否满足搜素条件，同时计算搜索电网设备与当前用户报装位置直线距离，并逐一进行记录。当满足最大搜索数量或最大搜索半径时，停止搜索，并将结果进行展示。

（3）基于地库名的检索技术。基于地库名的检索技术能够基于查询关键字、拼音和地址节编码作为查询条件，查询符合条件的全地址，将完整的地址查询字符串分解成为地址查询关键字。

在地址树状结构的基础上，建立了高性能内存地址节查询库，地址查询条件首先在高性能内存库中执行查询。在完全命中之后或者部分命中之后，再根据查询条件在地址树上执行验证。这种混合机制能够将多查询关键字条件下的时间消耗降低到原有查询方式的 1/10，保证大多数条件下查询时间在 1s 以内。地址查询体系提供标准 Web 服务功能模块，能够与现有各业务系统进行无缝集成。

6）基于配网专题图开关置位的动态拓扑分析技术

为支撑停电分析及主动通知、线损统计分析等业务开展，引入基于配网专题图开关置位的动态电网拓扑分析技术，以业务流程关联的方式，准实时地把开关状态的变化置入系统，使得静态数字电网变成为动态数字电网。

（1）基于配网专题图的开关置位应用。配网专题图是以 PMS 统一电网模型为基础，通过分析电气设备之间的拓扑连通性，利用配电网自动成图规则，自动生成符合生产及调度需求的基础图形，包括系统图、开关站图、供电范围图、单线图。调度部门可通过专题图进行配网开关状态置位。因配网改造或负荷迁移等生产业务需要调整配网中压线

路运行状态时，调度部门在配网专题图上进行开关置位，使配网专题图与现场线路运行方式保持一致，同时记录开关实际变位时间。

（2）基于开关状态的动态电网拓扑分析。经开关置位后的表征当前电网实际运行状态的配网专题图通过消息实时通知电网拓扑分析系统，电网分析系统实时进行相关的分析。通过开关置位，使得系统中的静态电网变为动态电网，可以为各业务系统提供实时分析功能，如设备带电性分析、停电范围分析、故障点分析、供电电源分析等。

7）联系人信息与配网的关联挖掘技术

为支撑停电主动通知、95598 故障智能研判等业务的开展，通过 AHP 方法对客户和 95598 来电情况进行分析，建立了高压用户、低压非居用户和居民用户的联系信息模型，将停电联系人信息与用户联系信息模型进行有机的结合，实现了停电短信主动通知服务；应用 AutoComplete 自动匹配技术，准确地显示来电客户的基础信息及关联的停电信息，支撑 95598 客服人员进行停电研判。

（1）联系人信息建模。为实现停电短信准确地发送到受影响的用户，需要结合用户的实际维护停电联系人信息，通过 AHP 方法对客户进行分析，基于 IEC 61968 标准，通过扩展客户命名空间的方式建立联系信息模型，补充配网管理所需的停电联系人信息。

（2）配网设备停运影响用户分析。在配网周计划管理中，利用电气拓扑关系，通过拓扑分析判定目标停运设备，再通过户变关系（高压用户：专变—用户；低压用户：配变—接入点—表箱—表计—用户）分析目标停运设备影响的目标停电用户；在故障管理中利用在线监测数据，通过故障寻址技术判定目标停运设备，再通过户变关系分析目标停运设备影响的目标停电用户，实现了计划（临时）停电、故障停电等影响到户分析。

（3）停电主动通知服务。通过采用 OGG 复制技术，从 PMS 和配网抢修指挥管理系统将配网设备停运影响的用户数据推送到营销系统和 95598 系统，营销系统依据目标停电用户获取每个用户的终端设备标识信息（电气联系人信息，包括移动电话、固定电话、电子邮箱），按照终端设备的类别分别调用相关的服务，从而将停电信息发送至每个用户的终端设备，实现停电主动通知服务。

（4）95598 用户停电智能研判。应用 AutoComplete 方法实现了来电自动匹配应用。当用电客户致电 95598 时，95598 系统首先根据用户来电号码自动匹配用电客户的联系信息，自动筛选出符合条件的营销用户信息，完成用户信息匹配后，通过户号自动搜索是否有涉及该用户的停电信息，以此来快速答复用户停电原因是计划（临时）停电还是故障停电。

6.2.3　智能电力营销一体化模型设计

构建营销配电与规划、基建、交易、财务等部门业务的一体化协同运作机制，实现信息共享，分工协作，协调互动、一口对以及“全面推进营销信息系统、营销信息采集系统、智能用能服务系统等技术平台的紧耦合集成，实现营销业务管理全过程自动化。直接面

向社会、面向客户，是社会各界感知和体验统一坚强智能电网建设成果的主要途径。

1. 目的与意义

以客户为中心，提供高附加值的电力服务，满足灵活的能源需求；将分布发电和可再生能源集成到电网中，进行本地能源管理，减少浪费和排放；通过智能电表管理系统，实现当地营销需求调整和负荷控制；通过开发和使用新产品、新服务，实现对需求自由化的响应。近几年开展的智能营销服务的研究和实践，主要是以自动抄表和营销信息采集、营销设备自动控制（需方响应）、分布式电源接入和电动汽车充换电技术为主的智能电力服务体系。

随着新型营销业务的发展和智能电网的建设，营销自动化体系得到不断拓展，已建成了营销分析与辅助决策、营销业务应用、稽查监控、电力用户用电信息采集、一体化缴费管理平台等系统。在建的有营销 GIS、能效管理平台、计量生产调度平台、电动汽车充换电网络管理等系统。同时根据业务集成需要开发了营销财务接口等。以营销业务应用系统为依托，开展了多种收费方式建设和应用，提出了适用于不同客户群体的抄表及电费收缴模式，制定了抄表及电费收缴工作标准和自助服务终端建设规范，开展了电费联名卡可行性研究，建立了 95598 客户服务网站和呼叫中心，为客户提供专业化互动服务。

2. 智能电力营销服务体系存在的问题

1）管理问题

第一，智能电力营销服务体系系统建设暂时没有统一规划。自营销业务应用系统建成后，随着新型营销业务的不断拓展，在短短几年内，营销系统建设快速发展，系统数量激增。业务应用系统面对快速增长的业务和数据量，系统压力巨大。

第二，现有智能电力营销服务体系系统建设进度过快。存在边设计、边建设、边实施，标准化设计前瞻性不够，修改过于频繁，对具体业务未形成良性指导。项目计划推进过快，与系统具体实施存在距离，给项目建设带来隐患。

第三，智能电力营销服务体系建设缺乏统一的领导机构，需要加强统一的管控力度；在营销业务应用系统建设时期，各个子系统建设厂商存在业务、建设、实施水平不一，业务扩张过快，导致营销信息化项目质量、进度不能得到有效保证。

2）系统问题

第一，系统间数据共享度不高。各应用系统的独立改造升级较困难，模块升级工作量大、容易出错、调试困难。由于缺乏营销自动化互操作技术支撑平台，营销系统的适应性、稳定性较低，运维成本较高。

第二，营销信息系统在标准化设计方面不能满足现有业务需求，主要是缺乏规范、系统的设计标准。与面向对象的国际设计标准还存在较大差距，制约营销信息系统健康发展。营销自动化各系统间缺乏互操作规范，数据、应用、界面交互内容及方式等未形成统一的标准，不利于业务发展。支撑管理模式创新、组织机构变革、业务流程优化、

新型业务运转能力相对较弱。

第三，营销技术支持系统之间未形成有效体系。原有的营销业务应用系统先于智能营销体系建设，与新建各系统从架构上需要进行有效融合。系统间接口不规范、核心信息不统一、业务逻辑的重复实现、联机事务处理和联机分析处理混合应用等问题，都会给系统运行带来风险，将制约营销信息系统对业务发展变化的适应能力。

第四，营销现场工作自动化水平较低，工作人员的工作量较大、效率不高，且对其工作质量监管困难，客户满意率低。

3. 智能电网电力营销模式的构建

面对营销技术应用层次多、功能复杂、规模大、重要性高和变化快等特点，为了使营销体系既能够满足智能电网的需求，又能够适应未来营销管理发展变化，提出基于智能电网的，适应“客户导向型、业务集约化、管理专业化、机构扁平化、管控实时化、服务协同化”的“一型五化”大营销管理模式。

智能电网电力营销管理模式的建立，要求在传统模式的基础上结合智能电网的特点，进一步明晰缴电网企业总部和各级分公司营销组织机构业务管理职责。强化政策技术研究功能，设立或利用外部科研机构，集中开展营销政策、智能用电、营销自动化、关键技术、关键设备研究，在各层级建立能够支撑电动汽车智能充换电服务网络、合同能源管理、分布式电源接入、光纤到户、智能小区等新型智能用电业务的支撑机构，适应智能电网电力营销模式需要。

在电网企业管理决策层面，负责制定智能用电发展战略及策略，制定营销管理标准、工作标准、技术标准，开展政策、技术研究，统一制定推广业务流程，统一规划建设现代化系统。在各级分公司层面，在执行传统营销业务的基础上，落实智能电网电力营销发展战略及策略。

4. 智能电力营销服务体系架构模型

1）体系架构设计目标

智能电力营销服务体系，有力地支撑了营销自动化建设，更好地展示了公司供电优质服务，有效地提升了品牌价值和美誉度。图 6-2 表述了一体化的营销业务的设计理念。

2）体系架构设计思路与原则

（1）设计思路。在营销组织体系设计中，应建立管理岗位，其职责是完成营销信息化系统的研究、规划，制定统一的标准，并进行系统设计，统一管控系统实施工作。根据设计标准进行系统开发及实施。统一规划营销信息化系统结构，以营销数据中心为核心，将各业务规划为高效、开放、灵活的业务模块。充分采用国际电工委员会的CIM、CIS 标准体系，云技术、HANA 技术等新技术，研发智能营销业务一体化支撑系统。

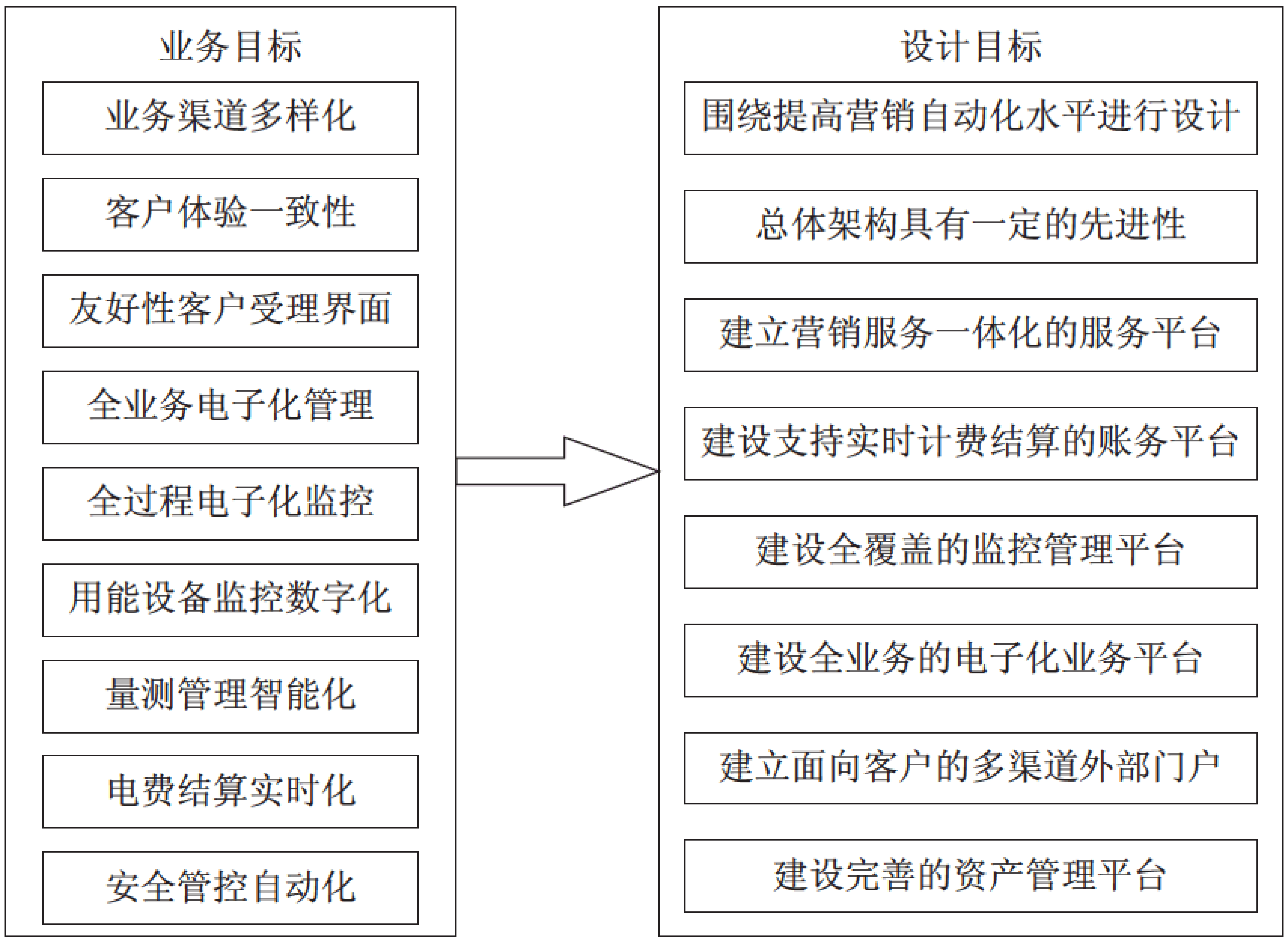


图 6-2　营销业务一体化设计图

（2）设计原则。为了适应营销业务管理转型的需要，设计应以“客户感知为导向”的指导方针，遵循继承性原则。为了满足业务主数据信息集中整合的需要，并考虑严格数据稽核和质量管控，以减少不必要的数据复制和数据冗余，加强数据生命周期管理，确保数据被正确使用，设计遵循信息共享原则。按照系统松耦合高内聚的原则，以满足整体架构的灵活性和高效性以及应用系统要符合模块化的要求，采用开放的技术和标准的注册接口，实现模块的灵活插拔。通过总线接口实现数据和服务共享，从企业级的视角制定应用系统和功能的划分标准，进行模块划分。

3）业务架构设计模型

业务架构设计的目的是将企业战略转化为日常运营的目标和形式，并且明确人员、资金、管理、IT、服务等企业资源如何分配。要用发展的眼光来看待业务架构，业务架构是在不断优化和发展的。

业务架构以营销业务的实际情况出发，从业务角度考虑智能营销服务体系应具有的业务能力，设计必须适度超前。图 6-3 给出了智能营销服务体系的业务架构。

4）数据架构设计模型

（1）企业数据总线管理。

对接入营销数据总线的所有数据源进行统一接入管理，包括营销业务应用、电动汽车管理、电能管理服务、用电信息采集、营销稽查监控、计量生产调度、客户服务中心信息、电费充值卡、营销 GIS、95598 智能互动网站等系统平台数据管理；营销数据存储转换，对接入数据总线的数据按照统一标准、规范进行校验和处理，包括数据校验以及异常处理、营销数据质量监控以及评估管理、营销数据按量纲及模型转换管理、营销数据按量

纲及模型存储管理等数据处理。

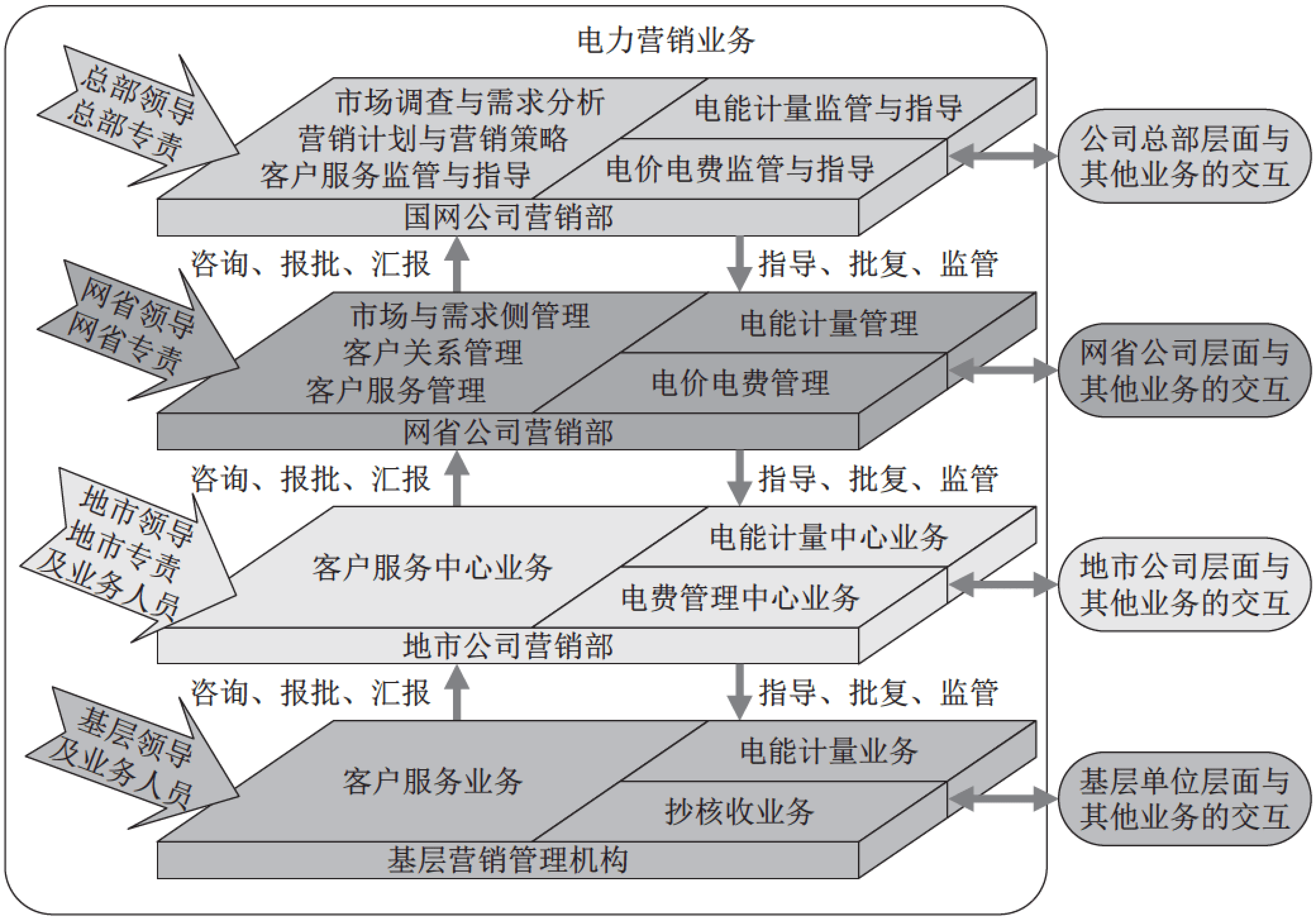


图 6-3　电力营销业务图

（2）企业服务总线管理。

在企业数据总线和服务总线之间对营销数据访问进行管理，对需要提供数据服务的按照统一服务标准提供数据访问服务，包括营销组织域、客户域、产品域、服务域、电网域、设备域、量测域、账务域、市场域、支撑域等数据服务。

（3）企业总线 ESB 作用分析。

应用数据总线与服务总线解决了各个系统或平台之间的信息孤岛问题，实现了应用互联互通，实现了不同事情建设的不同系统之间的互通；不同技术架构的系统之间的互通；不同管理领域下的系统之间的互通。各个应用系统的业务变更得到快速响应，并将具有可扩展性，标准化封装，即插即用保持一致。

智能电网构架下的现代营销模式，是以坚强智能电网为坚实基础，采用先进技术装备和现代管理理念，以多种营销技术手段为可靠支撑，建立与完善双向互动营销平台，实现与客户进行能量流、信息流、业务流的友好互动。

因此，为了构建智能电网构架下的现代营销模式，完善电力营销的业务架构和数据架构，必须解决的关键技术很多，主要包括客户满意度评价技术、营销数据挖掘与数据处理技术等技术。

5. 智能电网下的电力营销关键技术分析

1）客户满意度评价研究

由于国内电力行业的客户满意度测评工作起步较晚，基本沿用国外成熟的客户满意度模型。因此对于客户满意度模型的研究具有不可小觑的实际意义。

2）数据挖掘与数据处理技术

数据挖掘在电力营销中的应用，目标是为了满足用户需求，自动处理大量的原始交易数据，从中识别重要和有意义的关联规则。将关联规则挖掘应用于市场营销，有助于识别客户购电行为，发现客户消费模式和趋势，改进服务质量，取得更好的客户保持力和满意程度。

智能用电营销一体化模型是构建以客户和市场为中心，以集约化、专业化、扁平化为主线的完整的技术，是智能电网建设的关键。为进一步创新管理模式，变革组织架构，优化业务流程，形成 24 小时面向客户、业务在线监控、服务实时响应的统一智能用电服务体系，支撑公司其他系统数据共享与业务融合需要，持续提升供电服务能力和业务管控能力，提高用电客户服务水平，建立统一的智能用电营销服务体系成为当前营销工作的重点。但是，如何在一个高速、安全的信息平台开展智能化的营销项目以及实现多业务融合，为用户进一步提供优质、增值服务有待进一步研究和继续验证。

6.2.4 空间大数据前端展现技术原理

1. 金字塔原理

金字塔地图信息分面分层设计及多比例尺的前端数据处理电力应用地图信息包含的内容很多。就电力营销客服应用而言，地图信息包括地理经纬度；行政区划；河流、道路、桥梁、建筑物等地表信息；电力设施及电力线信息，包括变电站、开闭所、环网柜、电杆、导线等；电力设备及电力线动态信息；电力施工及作业人员的移动，以及与前面所有信息地理、地表、电力设备等的相关作用。

金字塔原理（Pyramid Principles）于 1973 年由麦肯锡国际管理咨询公司的咨询顾问巴巴拉 • 明托（Barbara Minto）发明，旨在阐述写作过程的组织原理，提倡按照读者的阅读习惯改善写作效果。因为主要思想总是从次要思想中概括出来的，文章中所有思想的理想组织结构也就必定是一个金字塔结构，即由一个总的思想统领多组思想。在这种金字塔结构中，思想之间的联系方式可以是纵向的，即任何一个层次的思想都是对其下面一个层次上的思想的总结；也可以是横向的，即多个思想因共同组成一个逻辑推断式，而被并列组织在一起。

根据金字塔原理，越高层的概括性越强，每一层次的思想观点必须是对低一层次思想观点的概括，每一组的思想观点必须属于同一范畴，每一组的思想观点必须符合逻辑顺序。

金字塔中的子结构包括纵向的疑问 / 回答式对话（主题和子题之间的纵向关系）、横向的演绎或归纳逻辑（子主题之间的横向关系）、讲故事式的序言结构（序言的讲故事式结构）。

一个好的信息系统，集中表现在其人机对话设计。信息系统界面设计，就像是一本好的作品，其中的信息展现组织尤其重要，金字塔原理可以作为一个好的信息系统的设计原则。

金字塔原理在信息系统中的呈现方式为立体、多面；顶层小、向底部逐渐扩大，呈现总的概括引领多组局部的小的概括，或底层支持上层的总结汇总；横向并列，组成一个概括的不同侧面的要素。

如图 6-4 所示为地图信息四面立体分层的示意图：在大范围或小比例尺（1 ∶ 512000 以上）下，大量数据的同时展示不仅速度慢，而且产生高密度堆积，使人眼难以清楚地分辨，此时展示控制目标级的信息展示，主要以各区域的四面的统计信息；在中比例尺（1 ∶ 512000 至 1 ∶ 32000）采用数据动态聚合技术显示数据；在大比例尺（1 ∶ 32000 以下）采用空间数据快速拾取技术显示范围内详细数据。

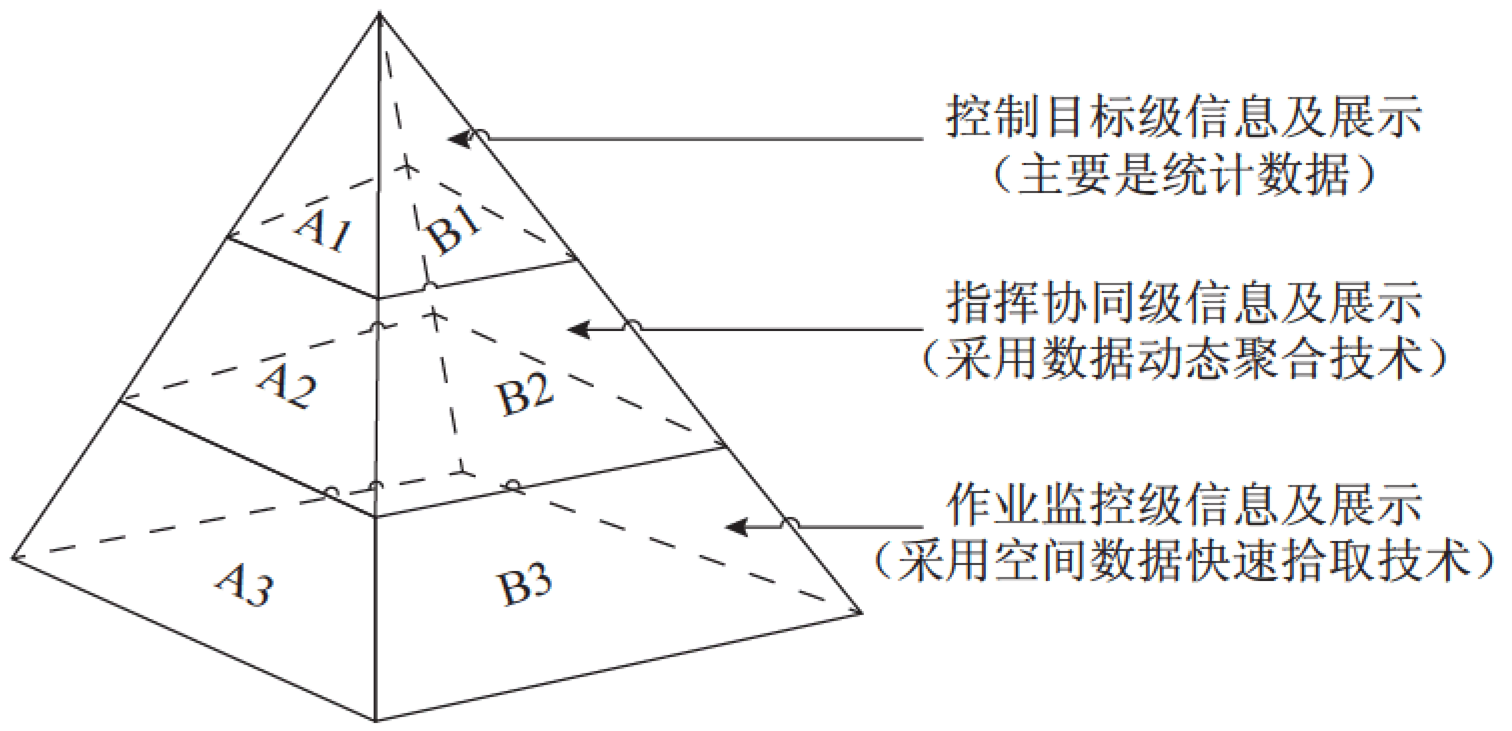


图 6-4　地图信息四面立体分层化及相关数据获取技术

2. 空间数据快速拾取技术

采用前端数据缓存 +Rtree 空间索引相结合，实现了空间数据的快速拾取。前端数据缓存是富客户端的特有技术，可以将大量数据存储在前端内存中，极大提高访问速度。Rtree 是一种高度平衡树，采用空间对象的 MBR 来近似表达空间对象，根据地物的 MBR 建立 R 树，可以直接对空间中占据一定范围的空间对象进行索引。在显示空间对象时，首先根据显示范围在 Rtree 中检索对象引用，然后以此从前端数据缓存中得到对象详细信息，在进行显示处理，这样对 10000 个空间对象的显示，可以控制在 0.5s 内。具体实现流程如图 6-5 所示。

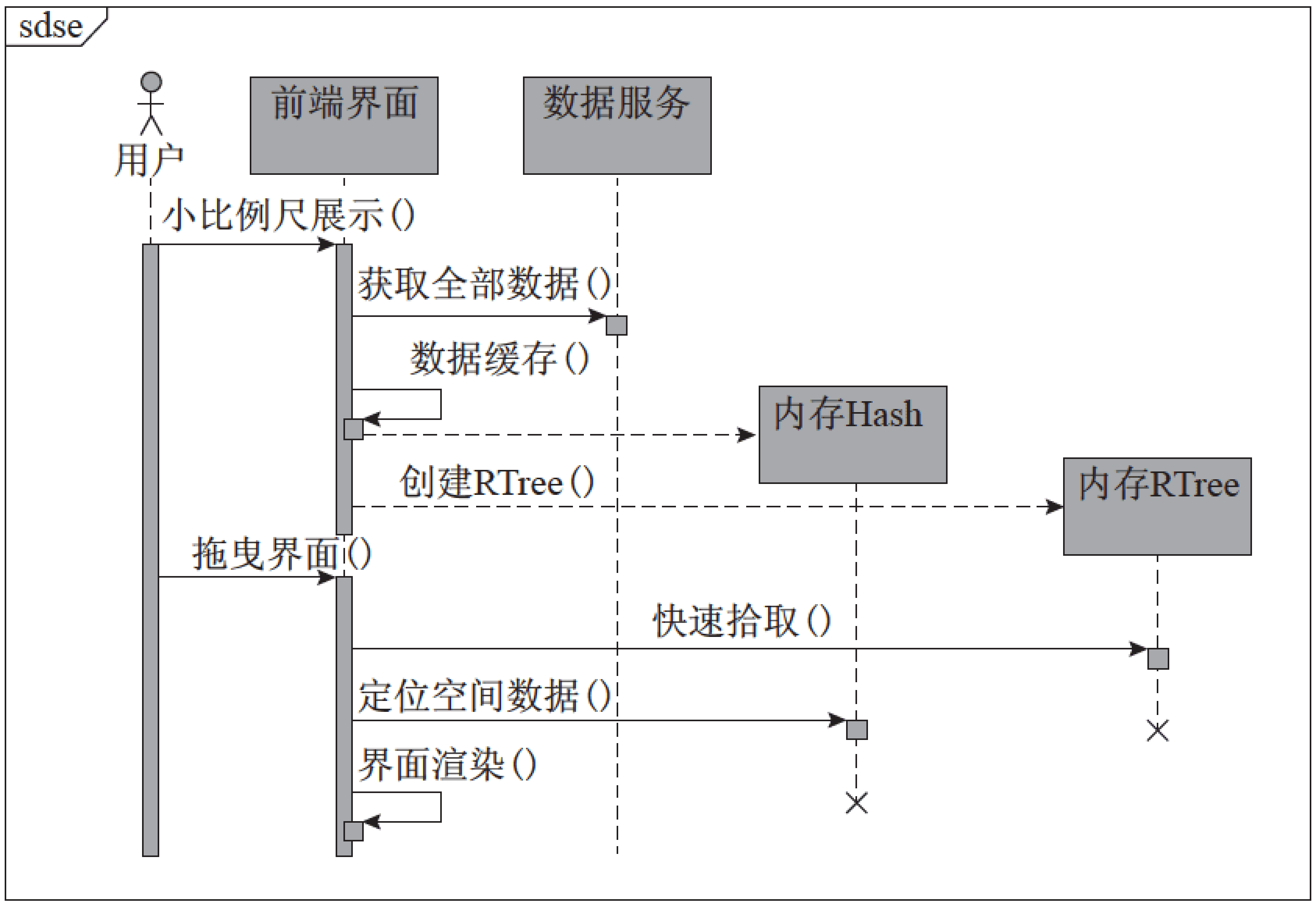


图 6-5　空间数据快速拾取流程

3. 空间数据动态聚合技术

数据在多维空间中的分布总是稀疏的、不均匀的。在事件发生的位置，数据聚合在一起，其密度很大。因此，可以采用空间动态聚合技术实现对大密度数据的集中表达，即采用数量表示同一个点或同一范围内的多个空间数据。首先，采用快速拾取技术得到可视范围的空间数据，然后，以各个空间数据间距离进行递归合并计算，得到应急停电信息的聚合显示效果。下面介绍动态聚合技术过程。

（1）将前端展示界面划分成多个网格。

假设前端展示界面内不均匀地分布有 20 个空间数据（小圆点代表空间数据），将前端展示界面划分成 4 行 4 列的网格，则 20 个空间数据会落入不同的网格中。其中，这 20 个空间数据依赖空间数据快速拾取技术获取。

（2）当落入同一网格内的空间数据不少于 1 个时，将该网格内的空间数据聚合成 1 个空间数据。

在网格内对空间数据进行聚合，以第 2 行第 1 列的网格为例，其内部空间数据的聚合过程：在点 1 和点 2 的中心位置上增加新点 12，并舍弃点 1 和点 2，然后对新点 12 和点 3 做同样的处理，一直迭代下去直至该网格内只剩一个点。

（3）当彼此相邻的网络内有空间数据时，对所述彼此相邻的网络内的空间数据进行再次聚合，直至各个空间数据所在的网格都不相邻，20 个空间数据中的聚合结果中，面积越大的点表示聚合对象中的元素越多。

（4）将最终的聚合结果在前端展示界面上进行显示。

以金字塔地图信息分层设计为原则，组合运用空间数据快速拾取技术和动态聚合技

术，实现不同分辨率下信息差异化、动态化展现，极大提升大量空间数据在前端页面的表现水平和显示效率。

6.3　智能供用电物联网工程技术应用案例

电力营销系统市场化发展战略重点任务、智能电能表全过程质量综合评价技术应用、多介质融合的智能配用电通信关键技术应用是本节介绍的主要内容。

6.3.1　电力营销系统市场化发展战略重点任务

1. 稳步推进售电侧放开改革

积极推进公司市场化售电业务。深入研究公司开展市场化售电业务的实现形式，依托公司信息技术优势和服务资源，紧扣目标市场和客户需求，大力开拓新型业务，成为售电市场的引领者、创新业务的示范者、服务标准的制定者，进一步提升公司市场竞争能力，保障公司营收规模和可持续发展。

1）构建适应售电侧放开的营销业务新模式

准确把握和区分市场化售电业务和保底服务、普遍服务的协同关系和界面划分，清晰界定电力客户服务定位、客户群体、服务渠道、合作伙伴等内涵，对供电营业区内的用户落实电力普遍服务，向有关售电主体和用户提供报装、计量、抄表、维修等各类供电服务，构建面向市场的新型电力客户服务模式。

2）积极参与售电市场竞争

适应售电侧放开，密切关注市场变化，采取灵活的营销策略，稳固存量市场，拓展增量市场，抢占潜力市场，提升公司市场竞争能力。充分融合“互联网 +”，依托公司电子商城，优化完善市场化售电服务策略，不断拓展增值服务内容和深度，向用户提供智能综合能源“一体化”解决方案，以高效的服务、合理的价格赢得市场，促进公司可持续发展，提高国有资本控制力和运营效率。

3）打造一流营销队伍

坚持以人为本，大力开展全员、全方位培训，不断优化队伍结构，造就一支人才结构合理、业务精湛、团结协作、执行力强的一流营销员工队伍，努力解决营销结构性缺员问题。大力引进高素质营销人才，精心培育复合型、高技能等综合性人才。

2. 大力开拓市场

1）稳固开拓三个市场

稳固存量市场，创新客户服务理念和服务方式，有效防止优质客户流失。拓展增量

市场，优化供电配套工程项目立项、审批及招投标流程，提高办电效率，提升工业园区、大型企业等优质客户服务能力。紧抓重点地区和开发区建设契机，积极开拓用电市场。竞争潜力市场，全面落实国家加强和规范自备电厂管理要求，做好“三供一业”供电分离移交，有效解决自供电、转供电问题。

2）全面推进电能替代

创新电能替代领域、替代方法和替代内容，扩大电能替代范围和实施规模。推动政府出台电能替代支持政策。健全电能替代保障机制，完善电能替代项目报装“绿色通道”，加快项目实施。加大“两个替代”（清洁替代和电能替代）宣传力度，提升公司经营绩效和社会效益。

3）深化节能服务建设

深入挖掘公司内部节能潜力，利用合同能源管理模式实施配网改造、电网无功补偿等项目，大力节能降损。发挥电力行业优势，在工商业、建筑等重点领域开展供配电、绿色照明、蓄能等节能服务和项目节能量认定。

4）完善电力需求侧管理

做好迎峰度夏（冬）电力供需平衡预测。借鉴上海需求响应试点和国际经验，开展需求响应研究。积极参与电力需求侧管理城市综合试点工作，配合出台尖峰、可中断、高可靠性或季节电价，以更加市场化的方式保障电力供需平衡。完善电力需求侧管理平台建设。

3. 全面深化以客户为导向的服务体系建设

1）深化服务渠道统筹管理

完善现有营业网点，拓展社会化代收网点，增加 24 小时自助服务网点，统筹推进营业网点布点和业务优化升级。充分利用公司信息通道和网络资源，加强对实体营业厅、网上营业厅等各种服务渠道的线上、线下监督评价和质量管控，提升窗口服务质量。

2）完善服务质量评价机制

常态开展供电服务明察暗访，挂牌督办 95598 典型案例投诉，委托第三方开展客户满意度测评，建立全方位服务质量管控体系。完善供电服务品质评价标准体系，建立健全内外部服务品质评价分析机制，依托供电服务品质评价系统，强化服务品质评价分析成果的深化应用，持续改进服务短板，提升客户满意度。

3）强化国网客服中心建设

发挥 95598 龙头作用，强化“一口对外”服务协同机制建设，确保故障抢修、客户诉求高效响应，实现服务协同化。丰富拓展 95598 服务内容，推进电动汽车、能效服务、分布式电源服务。强化 95598 网站市场培育和推广，完成 95598 业务支持系统、95598 网站与营销业务应用系统的贯通，实现线上申请与线下服务高效协同。开展大数据分析及应用，准确定位电网质量薄弱区域，发现客户集中诉求和问题集中区域，为电网规划投资、检修、优质服务等提供决策依据。开展国际对标，积极参与呼叫中心行业权威认证。

4. 深化营销精益化管理

1）深化营配调贯通和末端业务融合

开展营配调基础数据全采录和更新，实现公司经营范围内营配调基础数据的全贯通，提升营销与规划、建设、调控、运检等专业协同水平。基于“营配调一张图”开展 95598 客户报修定位、故障研判指挥、停电计划安排、业扩报装辅助制定、线损管理等一体化应用。

2）进一步提高办电效率

整合现有服务渠道，利用 95598 网站、手机 App 等互动平台，实现多渠道、全离柜业务办理。主动对接重点项目，推动客户工程和电网配套工程同步建设，促进业扩报装“提速增效”。简化办电手续，优化办电流程，扩大实施开放容量免审批。积极支持新能源、新业务发展，保障分布式光伏等新能源高效接入，为新能源主体提供便捷、高效电费结算服务。

3）全面做好“三供一业”供电分离移交

全面落实“三供一业”分离移交的要求，组织实施中央企业“三供一业”供电分离移交工作，解决央企自供电、转供电问题。统一工程项目实施及管理要求，确保客户用电安全，提供“四到户”服务。

4）加强企业自备电厂管理

落实国家有关政策要求，健全制度标准体系，配合政府做好自备电厂准入工作。加强自备电厂信息采集装置管理，开展自备电厂指标实时监测。严格落实自备电厂收费政策。推进高污低效自备电厂关停，以及利用富余水电等清洁能源、高效机组替代燃煤自备发电机组发电。

5. 深化计量创新管理

1）打造新型计量标准体系

适应公司智能电网、特高压、新能源接入等方面对计量业务的新需求，开展智能量测新技术的研究，建立相关领域技术标准。建立并完善“国网—省级—地市”三级标准量传体系。完善公司计量技术标准体系，推动企业标准向国标、行标转化及国际互认。研究特高压电网跨国工程电能计量装置现场交接试验方法和现场整体检验方法，实现电能计量装置检测结果国际互认。

2）推进计量装备智能化与检测自动化

完成智能电能表的升级轮换。推广应用插拔式计量箱、新型防窃电计量封印以及计量装置在线监测设备，提升计量装置智能化水平。研究应用计量装备自动化检定技术。研发自动化检定线智能巡检运维工具，全面实现“四线一库”的效能监测。推广自动化仓储设备，实现计量仓储自动化。研发计量统一移动作业平台等新型工具，提升现场作业的智能化和规范化。

3）建立完善计量业务新模式

适应售电侧放开改革新形势，研究构建“集约化管控、属地化运维、多业务融合”的计量新型业务模式。实现计量生产调度平台在省、市、县公司的全面覆盖应用。推动用电信息双向互动服务模式建设，建立与客户信息发布、信息共享的渠道，满足不同客户群的需求。

6. 完善智能用电服务体系建设

1）推进电动汽车快充网络和车联网服务平台建设

加快推进高速公路快充站、城市内公共充电设施和车联网服务平台建设，实现各个城市充电设施的互联互通，推动形成全面覆盖公司经营区域的智能充换电服务网络，同时接入社会资本投资建设的充电设施，积极推广公司充电卡，提升充换电设施互动服务能力，为用户提供智能化、互动化的充换电信息服务和便捷支付方式，拓展行车安全、生活娱乐等增值服务，为政府、车企、用户提供实时、高效、智能的多样化服务。

2）完善智能用电标准体系

研究客户侧智能用电标准需求，优化智能用电标准框架体系；加快修订和完善分布式电源、储能及微电网接入电网的技术标准和工程规范；编制客户侧电能服务、智能用电设备 / 系统接口及互操作、电动汽车充放电、储能应用等技术标准；积极推进标准国际化，提升公司在智能用电领域的国际影响力。

3）研究推广智能用电商业运营模式

结合智能用电园区、楼宇、小区和客户侧微电网示范 / 试点工程，建立客户侧能源综合管理系统，探索多元化的智能用电业务，上游承载发电、输配电、分布式等多维供给，下游承接工商业、居民、园区、第三方能源服务商等多维度客户，提供智能负荷调控、能源管理、用能优化控制等服务，支持能源交易、碳交易、客户侧负荷资源交易等多种类型的交易，逐步建立可推广的商业运营模式。

7. 持续推进营销创新发展

1）创新“互联网 + 营销”模式

创新应用“互联网 + 电力营销服务”模式，统筹实体营业厅、网上营业厅、智能自助服务终端、手机 APP、微信等服务渠道，建设多位一体的智能互动服务平台，实现服务互动化；进一步细分客户群体，实施差异化服务，实现服务可订制化。

2）推进电、水、气、热四表合一采集应用运营

研究电、水、热、气表一体化采集技术，积极推进新建楼宇四表合一采集应用工作，加快代抄表、代收费等商业运营模式试点推广工作，强化便民服务最后一公里，开拓公司新的效益增长点。

3）加快电子商务创新发展

以专业化、特色化服务为核心，加快推进“一个商城、两个平台”建设，加快培育

特色服务项目，持续提升电子商城市场竞争力。优化第三方支付平台服务功能，实施车联网平台开放策略，延伸安全驾驶、家政生活、娱乐社交等增值服务功能。积极推进电子商务公司化运作，全面构建以“电”为主线的公司特色综合电子商务生态网络。积极推进外部投资者引入、改制上市等资本运作，全面提升公司电子商务品牌影响力。

8. 推进“大营销”体系高效运转

1）优化营销业务流程和运作模式

适应电力体制改革新形势，按照公司“三集五大”总体要求，优化完善业务模式和营销手段，建立充满活力的市场化营销运营模式。加强四级客户服务中心建设，构建集中受理、分级实施、上下通畅的高效供电服务体系。

2）深化“五位一体”机制建设

完善“五位一体”机制，深化营销通用制度体系建设，固化提升“大营销”建设成果。加强县公司和乡镇供电所、基层班组的业务管控，规范营销管理和服务行为，提升供电服务“最后一公里”水平。

3）强化跨部门协同运作和业务贯通

提升营销与规划、建设、调控、运检等专业协同水平，提升规划制定、业扩报装、故障抢修、线损管理等业务的协同效率。

9. 全面提升营销自动化系统建设应用水平

1）构建营销一体化综合平台

整合客户互动服务、用电信息采集、自动化检定、需求侧管理、能效管理、客户关系管理等业务功能，构建营销一体化综合平台。基于公共信息模型及相关集成标准和接口规范，建立完善跨部门、跨专业业务应用融合。

2）整合电子渠道业务应用

深化智能互动服务平台应用，建设以集成公共服务为重点的社会化智能互动服务平台。优化营销电子化档案功能应用，实现档案信息的自动化识别输入、业务内容的自动化核对、业务信息的智能检索定位，提高使用效率。

3）深化跨部门系统协同应用

完善营销移动业务应用，推广多业务移动作业终端，提高现场工作质量效率。优化营销业务系统应用，实现供电方案辅助自动生成、线损自动分析；优化营销 GIS 应用，实现电网 GIS 平台信息共享与辅助应用；优化用电信息采集应用，实现采集与营销外部服务支持系统数据实时同步。建设面向公司、独立售电主体、终端客户的市场化售电运营平台。

6.3.2 智能电能表全过程质量综合评价技术应用

随着电力用户用电信息采集系统建设的不断推进，智能电能表获得了大范围的推广应用。为保障智能电能表稳定、经济、安全运行，提高其健康水平和服役年限，国内的一些电网企业虽已逐步建立了智能电能表质量评价体系。

1. 全过程质量综合评价体系存在主要问题

在用电信息采集系统逐渐投入运行以后，有换装载波智能电表的用户反映现用电量比以前有所增加，载波通信是否引起智能电表的计量误差增大成为急需解决的问题。

智能电网对电能表的计量性能提出了新的要求。一是由于风能、光伏等新能源引入电网，电网中的新型电源呈现较大动态特性。二是电力系统中的电铁、电弧炉等非稳定负载越来越多，使电网中的用电负荷也呈现动态特性。现有的技术手段已经无法解决双向动态功率下的智能电能表的计量性能评价问题。

智能电能表要实现实时数据交互，通信能力是关键。虽然目前行业内一些计量检测机构装备了单方向载波通信（点对点）和微功率无线通信测试系统，但是缺乏载波通信组网模式下的双向通信性能和路由性能评价手段。

传统的电能表性能评价局限于单机评价和单一影响量评价。在实际运行环境中，多参量对产品和系统性能的综合影响越来越突出，因此急需解决综合应力参量（环境应力、电应力）同时作用下的评价问题。

传统的电能表全寿命周期质量管控仅是从到货环节开始，但根据朱兰质量螺旋曲线模型，要实现智能电能表质量综合评价，必须关注电能表从设计、型式评价、生产制造、验收检测、运行抽检、报废鉴定等各个方面的质量信息，需建立全过程质量数据库和评价模型，实现综合评价。

2. 智能电能表全过程质量综合评价的关键技术

根据智能电能表大规模推广应用的质量管控需求，要系统性地研究智能电能表质量综合评价方法及相关支撑技术。

在理论分析和试验验证的基础上，构建了智能电能表计量性能受载波通信影响的检测系统。通过分析智能电能表工作原理和载波信号特性，明确了载波类通信信号对智能电能表信号采样过程、累加计算过程的潜在影响，研发了智能电能表计量性能受载波通信影响的检测系统，实现了对载波类信号影响智能电能表计量准确度的定量检测，填补了国内外技术空白。设计的智能电能表计量性能受载波通信影响的检测系统如图 6-6 所示。

系统中智能表检定装置、电压电流回路载波隔离衰减装置、抄控器模块都能通过计算机控制，从而使整个系统也实现了自动化控制。同时，该系统可以实现对智能电能表在载波通信条件下计量准确度的定量检测，其中电压电流回路载波隔离衰减装置的信号

滤波频率点为 421kHz、270kHz、132kHz、121kHz，载波负荷阻抗值为 5 ～ 50Ω，输入电流范围为 0 ～ 20A，能够兼容目前主流的载波技术，达到定量评价的目的。

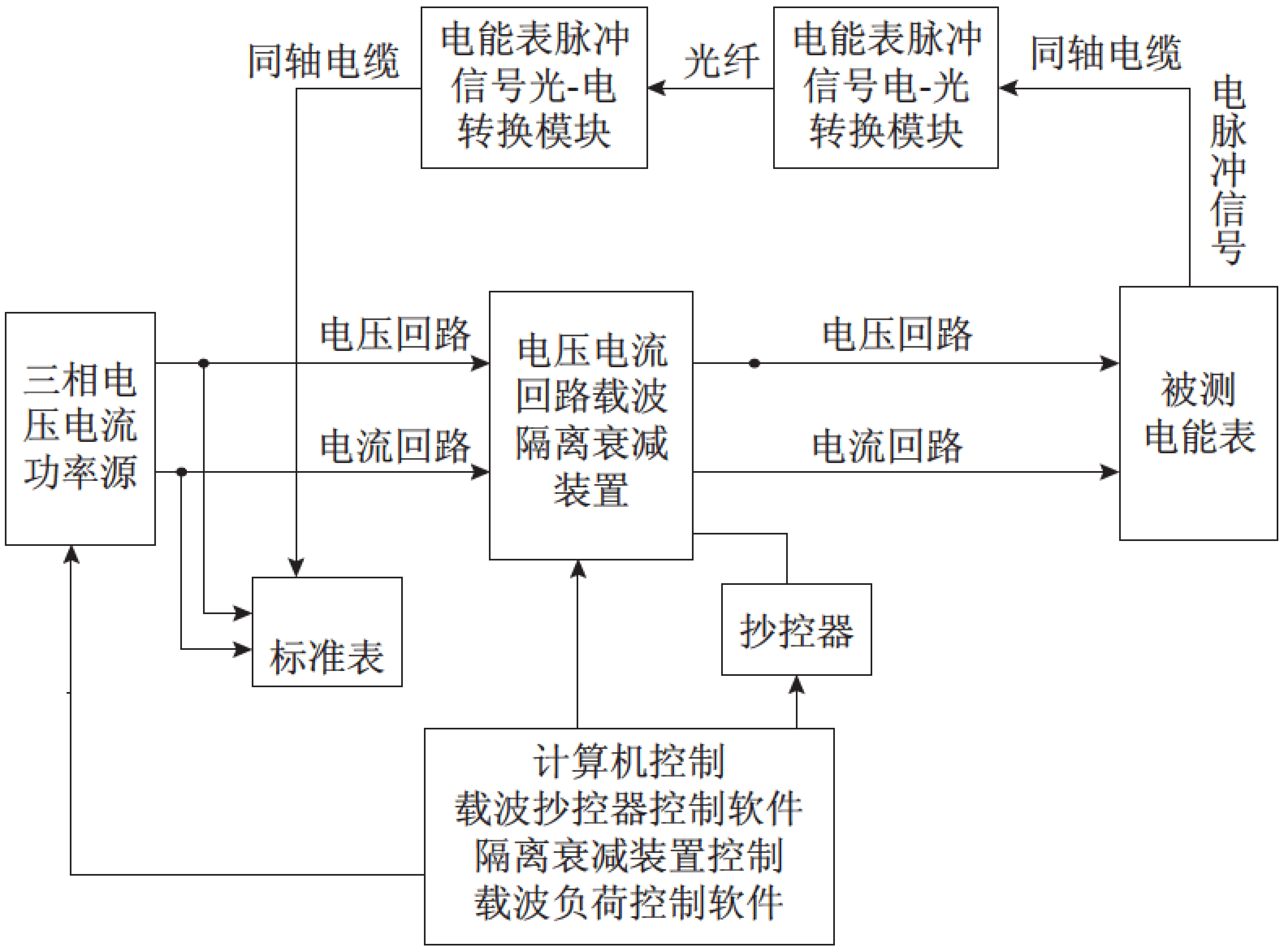


图 6-6　智能电能表计量性能受载波通信影响的检测系统方案

系统地分析了确定型动态负荷测试激励信号的时域和频域特性，研究建立了完整的涵盖单向和双向功率的动态负荷幅移键控（ASK）功率信号模型，解决了动态负荷下电能表示值误差的量值溯源问题；在此基础上设计开发了基于 CPLD 电能表动态误差测试装置，搭建了动态负荷电能计量误差测试系统，并对动态误差的测量不确定度进行了全面评定，突破了动态负荷下电能量值溯源的技术瓶颈，填补了双向动态功率下电能表计量性能评价的技术空白。设计开发的电能表动态误差测试装置及相关测试系统如图 6-7 和图 6-8 所示。

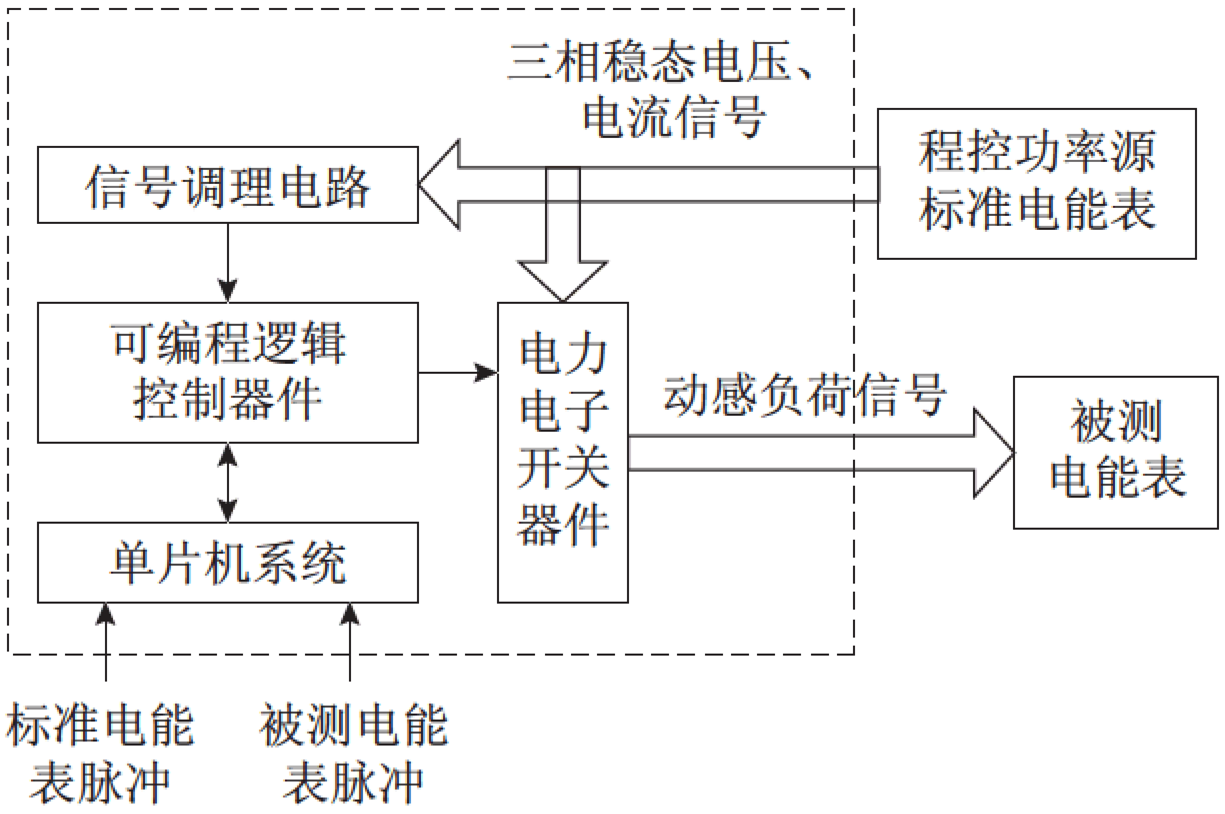


图 6-7　电子式电能表动态误差测试装置结构图

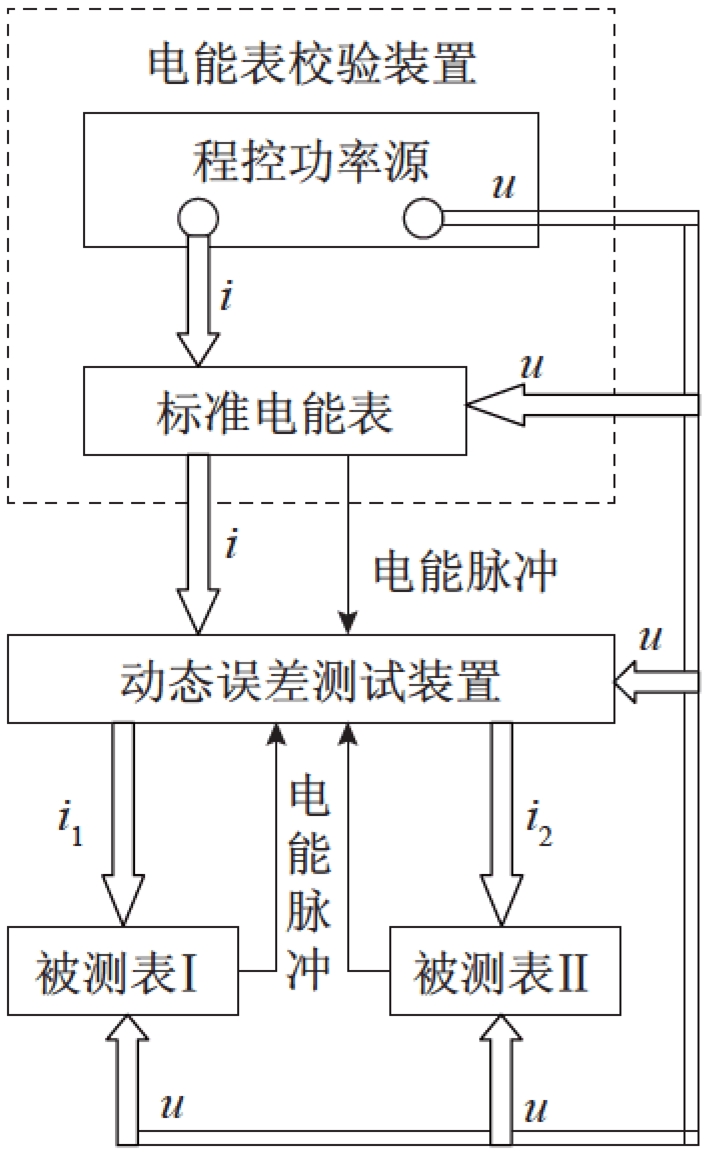


图 6-8 电能表动态误差测试系统

在该测试系统下，对测量结果的不确定度进行了分析，在整个测量范围内，该动态误差测试系统的测量不确定度约为 0.96%（k=2），为动态负荷条件下电能表的计量性能评价提供了有效技术手段。

通过对典型台区的载波通信拓扑结构和主流的路由算法的分析，搭建了软件虚拟台区与实际载波通信节点的载波路由组合仿真电路，实现了对真实电能表载波通信模块路由通信建立过程的白盒测试，能够直接分析通信报文的路径设置，对集中器和电能表的中继路径进行控制，完成对多种真实台区拓扑结构的模拟和网络层路由协议的测试，能够达到 7 级真实路由中继和多级虚拟中继深度。该技术突破了黑盒测试过程中无法直接获取中继路径的技术瓶颈，解决了载波通信组网模式下路由性能评价的技术难题，并应用于智能电能表通信性能评价系统。载波路由仿真拓扑架构如图 6-9 所示。

通过对载波信道数据（噪声、阻抗、衰减）的现场测试和其对载波通信成功率影响的试验分析，结合双向信号衰减技术实现了低压载波信道的宽频阻抗模拟和双向信道衰减，并应用于智能电能表通信性能评价系统。该成果实现了 50 ～ 500kHz 频率的低压载波通信 0.1 ～ 10Ω 阻抗模拟和 0 ～ 120dB 衰减模拟，突破了智能电能表双向通信能力评价的技术瓶颈，达到了对低压电力线载波通信信道特征进行综合模拟的目标。

基于朱兰质量螺旋曲线，将质量评价环节延伸到设计阶段，建立了设计、型式评价、生产制造、验收检测、运行、报废鉴定 6 个环节的质量数据库，丰富了动态误差试验等 4 项性能评价的质量数据；按照“环节评价—结论性评价—性能指标评价”逐层细分的原则，利用专家访谈法、层次分析法确定指标权重，细化了智能电能表质量评价准则，建立了质量评价模型；开发了智能电能表质量数据库管理平台，实现了智能电能表全过程质量综合评价。

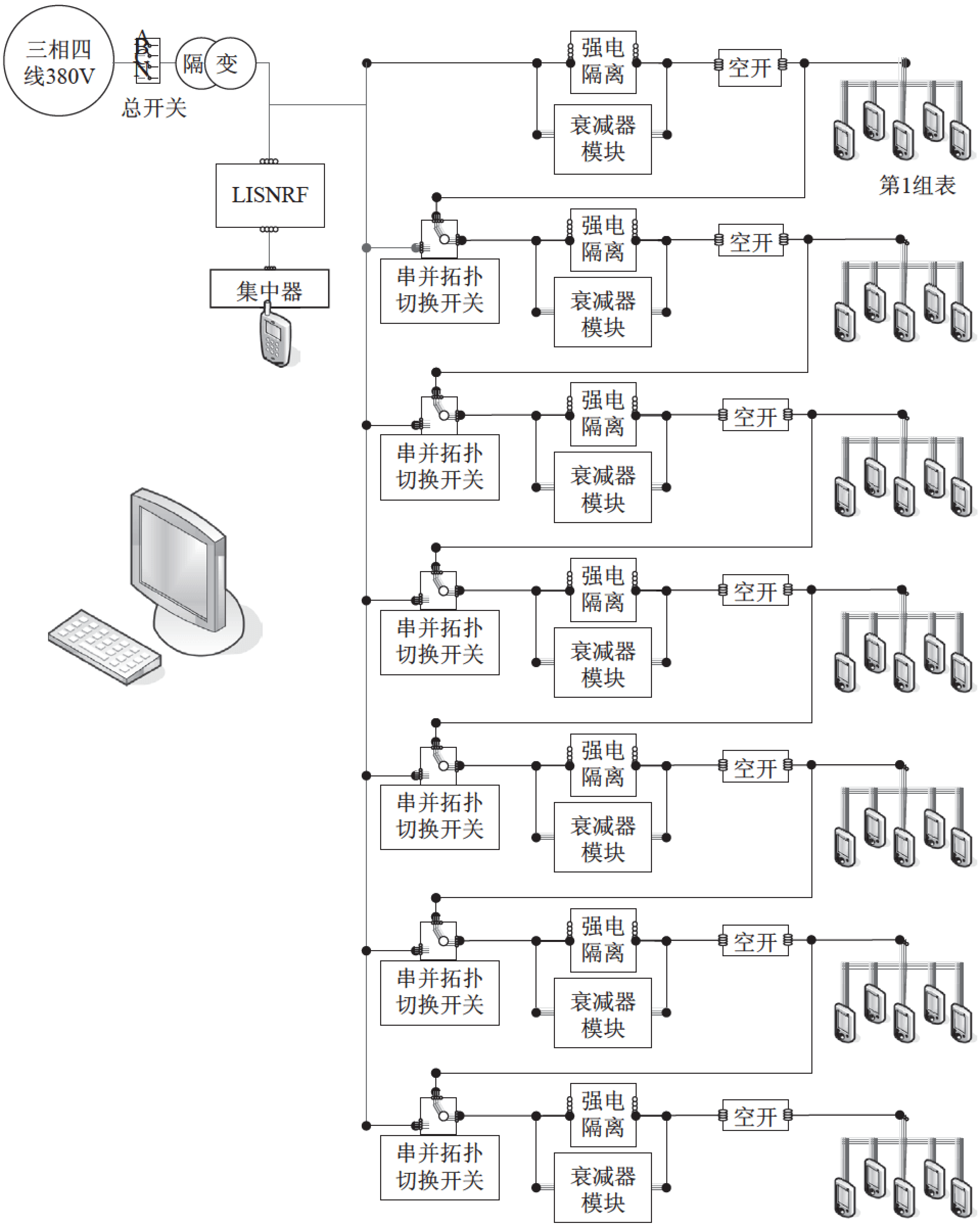


图 6-9　路由拓扑架构连接图

根据智能电能表质量全过程 6 个环节的划分，开发产品的可靠性预计寿命等 15 个功能项，设计关键元器件失效率等 39 个质量特性指标。特性指标确定后，利用专家访谈法、层次分析法确定每一层级中质量特性指标的权重。为了能够适应动态质量评价体系的要求，可方便地进行指标添加或删除，而不会引起分析过程大的变化，同一层次采用百分制，该层次下的各个指标采用百分比的形式。得到权重分配后，利用专家访谈法确定计算准则，从而得到各项得分，然后根据上一层次的权重分配得到总分。从单只表、批次、型号、供应商四个层面对智能电能表进行定性与定量相结合的综合评价。

6.3.3　电力通信系统中的软交换技术的应用

“软交换”就是指基于分组网利用程控软件提供呼叫控制功能和媒体处理相分离的系统和设备解决方案。换言之，软交换是从媒体网关（传输层）中分剥离出其中的呼叫控制功能，再通过软件技术实现其呼叫控制功能，进而使得呼叫传输和呼叫控制二者相互独立，这就为系统的控制与交换以及软件可编程功能实现各功能的可分离的平台创造了条件。一方面，软交换提供了很多实用的功能，如连接控制、翻译和选路、网关管理、安全性和呼叫详细记录、呼叫控制等功能。另一方面，它还为在网络上提供开展新业务提供了大大便利，这主要归功于软交换网络资源与网络能力很好地结合，并设置标准开放的业务接口和业务应用层。

1. 背景

随着电力市场化、开放化的趋势以及电网建设的进一步发展，传统的电力信息系统的业务将发生变化。一方面，涌现出不少新型业务，如电视会议、变电站无人视频监控、输变电线路监控及电厂视频监控等视图业务；另一方面，传统单一主机的调度自动化体系架构向客户机 / 服务器体系架构的转变；同时，监视全网运行状况，提供故障记录和分析的故障滤波系统的建设以及电量计费网络系统和雷电定位系统的建设等。

2. 软交换的主要功能

软交换主要具有呼叫控制、互联互通、业务提供等功能，下面分别介绍这三大功能。

1）呼叫控制功能

呼叫控制功能是软交换的重要功能组成。它除了能完成基本呼叫的建立、维持和释放之外，还可以提供各种控制功能，如呼叫处理、智能呼叫触发检出、连接控制和资源控制等。

2）互联互通功能

当前 IP 电话体系主要由两大标准构成，即 ITU-T H.323 协议标准和 IETF SIP 协议标准。这两大标准均可以独立地实现呼叫建立、释放、补充业务、能力交换等功能，但是不可相互兼容。软交换技术可以与多种协议相兼容，自然也包括同时兼容 ITU-T H.323 和 IETF SIP 这两大协议标准。

3）业务提供功能

一方面，软交换可以实现对 PSTN/ISDN 交换机的支持，并能提供全部业务，包括基本业务和补充业务；另一方面，它可以与现有智能网相兼容相配合，为现有智能网提供业务。由此可见，软交换在网络从电路交换向分组交换演进的过程中扮演着非常重要的角色。

3. 引入软交换的意义

软交换将是下一代话音网络交换的核心。如果说传统的电信网是基于程控交换机的网络，那么下一代分组话音网则是基于软交换的网络。软交换是新、旧网络融合的枢纽。这主要表现在三个层面。

第一个层面——用户。传统的交换网络具有封闭性，一家设备供应商往往包揽所有包括软、硬件供应、更新维护以及应用的开发在内的每一项事物，理所当然地用户也牢牢地锁定在设备供应商的那里，压缩了用户选择的空间，导致用户在设备维护费用上失去了应有的主动权。

第二个层面——成本。将传统的电路交换技术与软交换技术相比，软交换技术更具经济性、低成本性，可以说是低投入高产出。这主要是得益于两方面：一方面，软交换技术实现了平台的开放性，使得新的应用可以更快、更易与其相衔接；另一方面，软交换所使用的元器件很多是普通的计算机器件，这就降低了其元器件的采购成本，具有更高的性价比。

第三个层面——可靠性。与传统的电路交换相比，软交换技术可以更好地解决网络的可靠性。用户在组网的时候可以利用软交换的优势采用功能软件的形式将传统的电路交换的核心功能先进行分类，然后将其往下分配到各骨干网络。

4. 软交换技术在电力通信系统中的应用前景

电力通信网分布广泛，业务极为繁琐，虽然拥有多种网络形式，但是各种网络有各自的交换设备、复接设备等，且它们相互独立，不能实现互融互通。随着软交换技术的出现，将可以很好地解决这些问题，这主要得益于在电力通信系统中应用软交换技术所能取得的优势。

1）统计汇总的优势

对于纵横交织的电力网络和业务繁杂的电力系统来讲，应用软交换技术的优势是：方便快捷地对所有业务进行汇总并输出分析报告；发生故障时及时发出错误警报，同时显示故障错误的具体地点和原因，并自动将其发送给电力抢修和维护部门；采集清单的功能，并可提供详细的电量与电话计费清单。

2）电力通信网中网络互通的优势

电力通信网不但拥有电力系统独有的载波电话网络，而且存在计算机网络，它们是以协议为基础的分组网络。电话网和计算机网可以利用软交换技术提供的支持多种信令协议的接口来实现它们之前信息指令相互传输相互识别。这样，计算机网络能更便捷地对电力通信网进行管理和协作，更好地支持各业务的开展和实施。

3）新业务开展的优势

当前，语音和数据信息为电力通信网中主要传输的信息。网络技术的发展和计算机技术的革新对电力通信业务提出了很多新的要求，如可视业务、多媒体业务等新兴业务。面对这些新的要求，软交换技术可以大显身手，这是因为其不但可以很好地支持语音业务，而且可以利用新的网络设施与开放式的应用程序接口为用户提供各种增值业务，为

新业务的开展提供便利。

4）统一不同介质网络的优势

当前的电力通信网拥有多种传输介质，且各自独立不相兼容，必须采用各自专用的设备。若引进软交换技术来组建网络，利用软交换技术的优势可以搭建一台多介质的信息进行交换解决方案。这样一方面可以减少设备的需求，降低设备的总采购额以节约成本；另一方面可以提高网络的可靠性，使依靠各种不同介质传播的网络达到一定的互融互通的效果。正是由于实现了不同介质在同一网络中的信息传递，从而简化了过去不同介质间的繁琐的数据转换；同时在管理维护上显得更加方便快捷，因为现在只需对同一类设备进行运行管理和系统维护，就可以实现对整个网络的信息交换。

6.3.4 多介质融合的智能配用电网通信关键技术应用

1. 宽带无线通信网综合集成应用

1）核心组网方式

在大连开发区供电公司通信机房建设无线宽带接入网关（ASN-GW）、鉴权服务器（AAA）、网管服务器（M2000）一套，在 66kV 开发变、66kV 辽河变、66kV 二道河变、220kV 中华路变安装基站设备，覆盖所有配网自动化配电终端。配电终端通过 CPE 与基站连接。基站设备无线信号的回传利用既有的 SDH/MSTP 光网络。此网络运行稳定，且有充足的带宽资源，满足传送配用电网信息的需要。如图 6-10 所示。

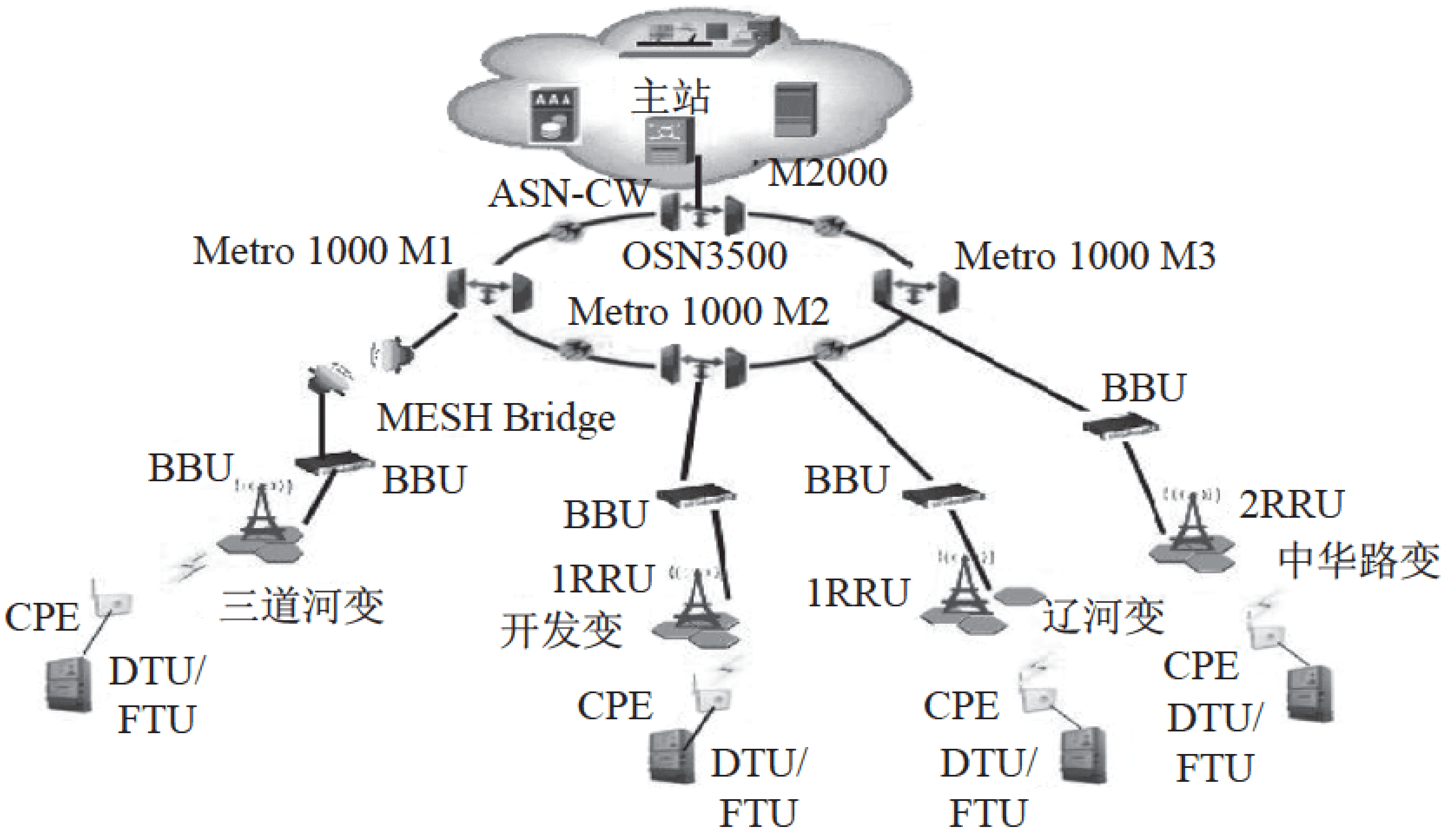


图 6-10 核心组网方式

2）主要设备配置及功能

（1）主站。接入网关（ASN）。WASN9770 网关，是一个有控制功能实体的逻辑

体，主要进行各网元的控制、无线空口的管理以及和其他网络连接的功能。鉴权服务器（AAA）是一个提供有关认证、授权、计费和数据增值等业务的远程用户接入认证服务器，主要为电力业务数据的安全性和 QoS 负责。网管系统 M2000 统一管理无线宽带系统所有的网元设备。

（2）基站。基站设备安装在变电所内。基站为分布式基站，采用 BBU+RRU 模式；BBU 安装在室内，RRU 及天线安装在楼顶立体三角型支架上。

- 中频处理单元 BBU：主要功能为基带处理，信令处理，无线资源管理，以及提供到 ASN-GW 的传输接口，提供操作维护功能和时钟同步。
- 射频拉远单元 RRU：实现基带信号、中频信号和射频信号之间的转换，实现对无线接收信号的解调、对发送信号的调制和功率放大。
- 终端设备 CPE：主要功能为将电力设备传递的数据转化为无线信号，传递到网络层；并接受主站层通过网络层下发的控制信号传递给电力设备。
- 中继回传设备：主要功能为将基站数据通过 WLAN 做回传到变电站，再通过光网络接入设备接入电网的光纤环网。

3）应用效果

（1）利用输电铁塔安装基站设备。

由于二道河变电所处于低洼位置，难以覆盖所辖地区的配电终端，而地处附近小山坡上的输电铁塔可以覆盖所有配电终端。为此，在取得上级主管部门的支持和保证安全的前提下，详细论证隔离距离、受力、风偏等数据，设计改造了输电铁塔做基站站址，将基站的主设备安装在输电铁塔基础上，将基站室外设备安装到输电铁塔上，以保证无线信号的全面覆盖，如图 6-11 所示。

图 6-11　二道河变基站

（2）使用 MESH 设备实现中继回传。

因为输电铁塔无光通道，无线信号无法传送到有光传输网络的二道河变电所，我们

使用工业级无线网桥设备（MESH）建立中继回传通道，联通输电铁塔和变电所，保证了无线信号的正常传输。

（3）实现配电终端“1 拖 X”功能。

针对部分配电终端设备地理位置相同的情况，采用 LAN SWITHCH 终端汇聚技术实现 1 拖 X 功能，即通过一个小型 LAN SWITHCH 设备将相同地理位置终端信号进行汇聚后上传到一个无线终端。其中二道河站区六个地理位置相同环网柜采用 LAN SWITHCH 汇聚后使用一个 CPE 即可上传，定义为 1 拖 6，节省 5 部无线终端设备。1 拖 2 情况有 2 个端点。图 6-12 为环网柜 1 拖 2 实现方案。

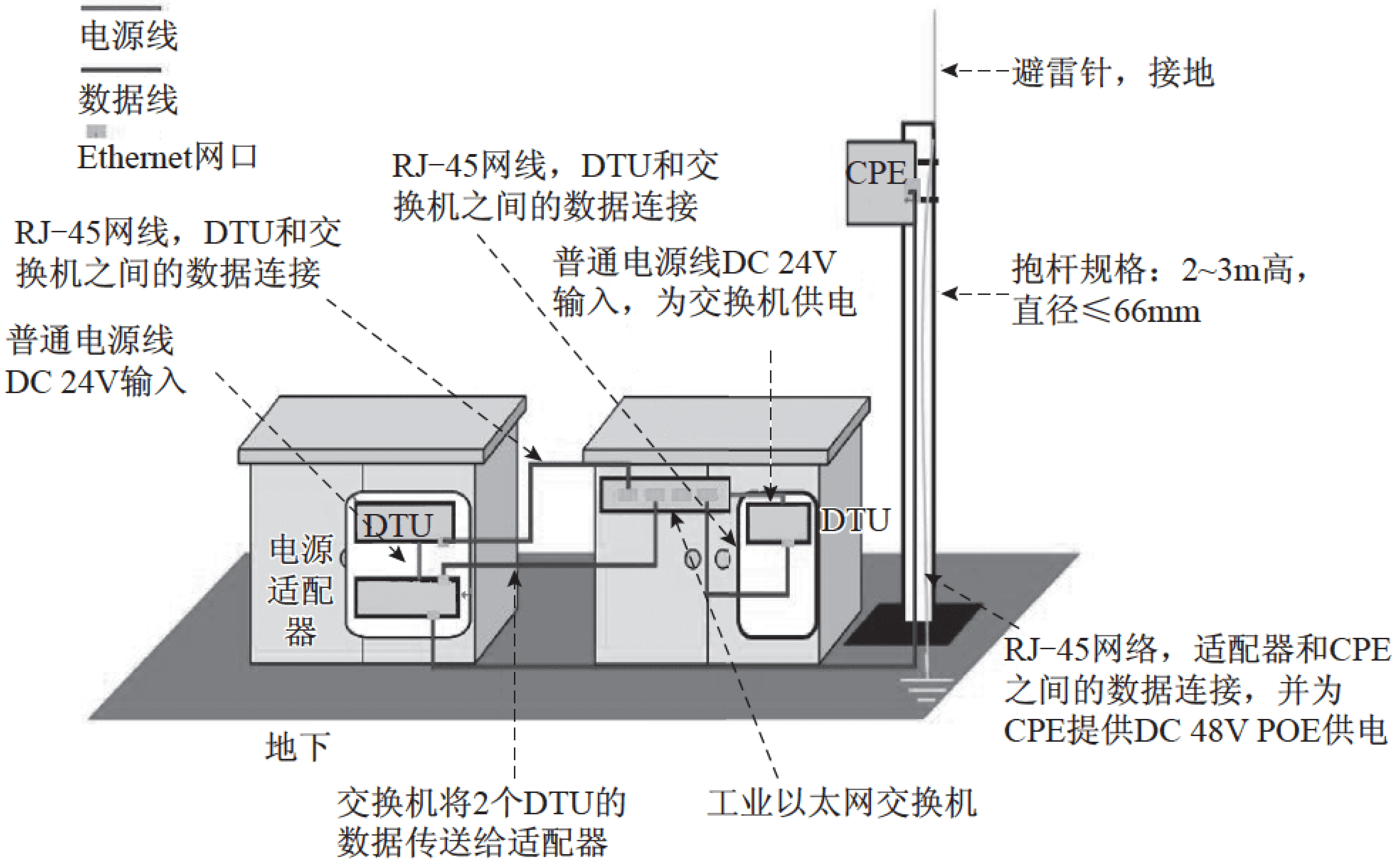


图 6-12　环网柜 1 拖 2 实现方案

2. 基于宽带无线专网通信平台实现多种方式接入的用电信息采集

“基于宽带无线专网通信平台实现多种方式接入的用电信息采集”系统紧密结合智能电网智能营销管理体系和智能配电监测管理体系建设需求，以我国拥有完全自主知识产权的 McWiLL 宽带无线技术为主，宽带 PLC 通信技术和 WIA 无线传感网技术为辅，组建电力通信接入网。系统由上至下划分为主站层、宽带无线接入层、用户终端层和无线延伸层。

1）主站层

主站层采用分层结构设计，分为用户接口、数据处理和数据存储三个部分。用户接口主要包括终端数据接口和业务服务器接口。终端数据接口通过 TCP/IP 服务完成从基站上传终端数据的解析。业务服务器接口主要完成与电力应用业务服务器应用程序的对

接，实现上级服务程序下发数据的接收和解析。数据处理部分主要完成电力应用业务服务器接口解析数据的分析、定位和重打包送给终端数据接口发送以及数据流量控制、安全控制以及报警等。数据存储主要完成终端数据接口和业务服务器接口解析数据的存储以及备份。

2）宽带无线接入层

组建 McWiLL 宽带无线通信网络，同时研发基于 McWiLL 技术的智能终端产品，实现智能电网的多媒体集群、协同作业、宽带数据接入、移动视频传输等业务。主要支持业务如图 6-13 所示。

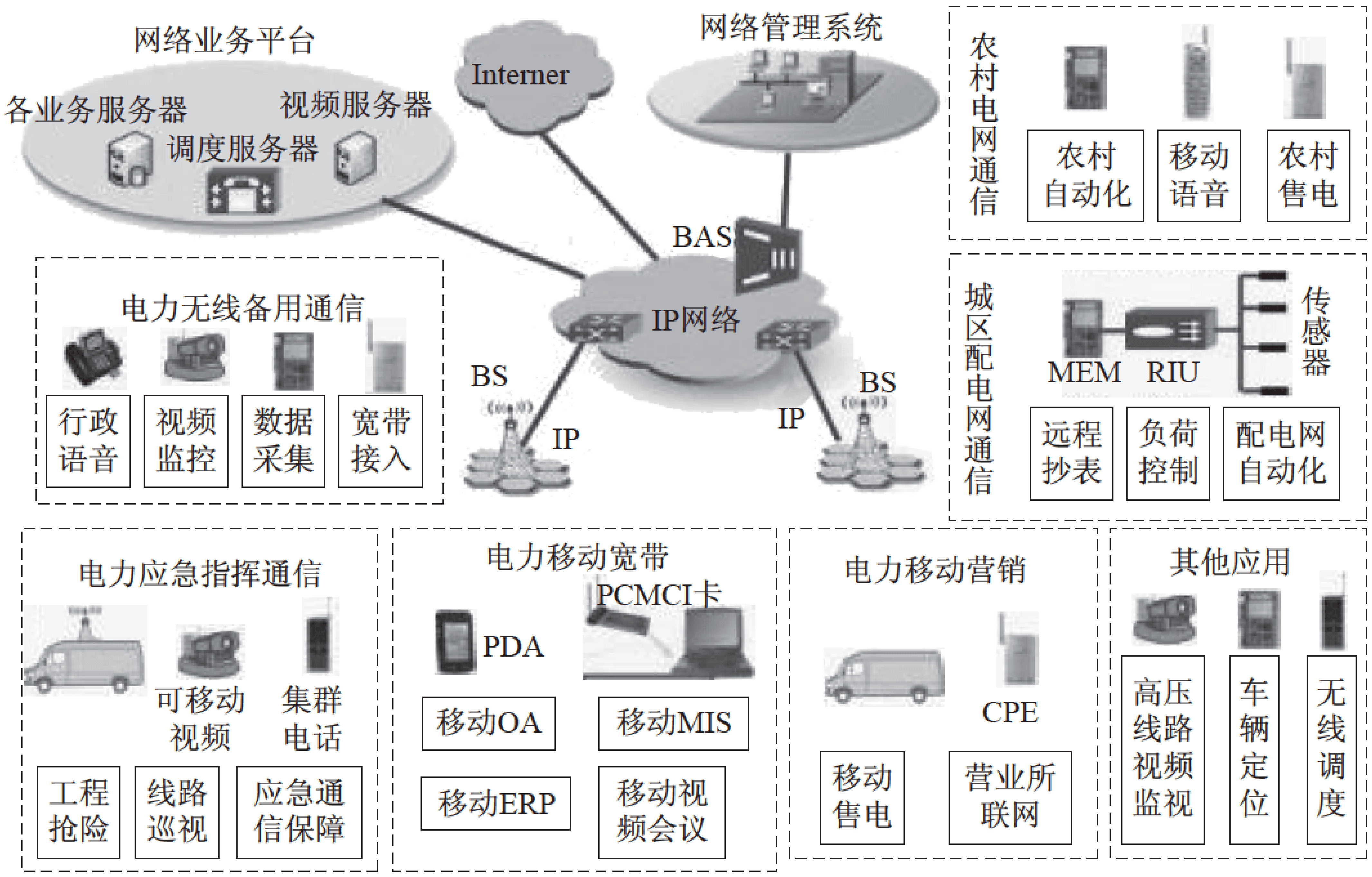


图 6-13 宽带无线通信平台业务支持

3）用户终端层

用户终端层主要由集中器、采集器构成，采用 TCP/IP 协议，保证数据传输的可靠性；标准化的数据接口方便与不同设备的互联互通。

用户终端层采用基于宽带 PLC 低压载波通信方式的集抄设备和基于 OFDM 正交频分复用的电力线宽带通信技术，在低压电力网络上实现了较长距离、较高带宽的通信，为电力用户用电信息采集提供了稳定、可靠的实时通信通道，具有安装简便、性价比高、实时性强、无通信盲区、运行稳定可靠等特点。

4）无线延伸层

WIA 无线传感器网络技术提供一种自组织、自治愈的智能 Mesh 网络路由机制，能够针对应用条件和环境的动态变化，保持网络性能的高可靠性和强稳定性。

基于低功耗无线传感器网的能量信息采集终端具有超低功耗、低成本、能够满足大数据量的通信需求、较强的抗干扰能力、通信实时性较高的特点。

基于 WIA 技术组建的用电信息采集系统具有以下优势：无线采集节点可自主组网，单网无线节点可达到 500 点（其中每个点可接入多达 32 块智能电表），适合于用户小区的集中抄表；节省布线，成本低；通信速率较高，集抄速度较快；通信可靠性高，单点抄表成功率大于 99%，多点广播抄表成功率大于 98%。

第 7 章

配电系统物联网工程技术与应用

配电物联网设计技术的基本概念、配电网综合自动化系统技术基础、电力系统负荷预测技术及方法、配电网现状问题诊断及发展水平评价、智能配电物联网通信组网技术方法、配电系统物联网工程实际案例分析是本章重点介绍的主要内容。

7.1 配电系统物联网工程技术基础知识

配电物联网设计技术的基本概念、配电网综合自动化系统技术基础、配电网规划设计技术基础知识、国家配电网建设改造行动计划重点任务是本节介绍的主要内容。

7.1.1 配电物联网设计技术的基本概念

1. 配电网及规划设计技术

配电网可以根据功能、电压等级等因素进行定义。按照功能划分，电网分为输电网和配电网，输电网承担电力输送的功能，配电网承担电力分配的功能；按电压等级划分，可将某一电压等级及以下的资产统一定义为配电网。

目前，国家电网公司与南方电网公司均将配电网定义为 110kV 及以下的电压等级电网，包括 110（66）kV、35kV、10（20）kV 和 380V/220V 电网。

配电网可以分为高压、中压及低压配电网，按电压等级划分，一般 35kV 及以上电压等级配电网为高压配电网，10（20）kV 电网为中压配电网，380/220V 电网为低压配电网。

配电网规划年限应与国民经济和社会发展规划的年限相一致，一般可分为近期（5 年）、中期（10 年）、远期（15 年及以上）三个阶段。目前，配电网规划更多的为 5 年的近期规划，但是规划方案应充分结合目标网架（10 ～ 15 年）规划成果。

规划项目包括新建、扩建及扩展性的改造项目。扩展性改造项目包括改变生产能力、改变电压等级、改变网络结构、改变通道资源使用方式，以及因系统参数、设备标准变化而实施的设备整体更换。整站、整变、整线、整间隔改造项目纳入扩展性改造。

2. 配电网规划原则

配电网规划应统筹考虑、合理规划，做到科学论证、技术先进、经济合理，并遵循以下原则。

（1）统筹考虑城乡电网、输配电网、电网电源、电网用户之间协调发展，落实公

司“横到边、纵到底”的工作要求。

（2）在保障供电安全可靠的前提下，能够灵活运行，提高电网的供电水平和经济效益。

（3）满足电力发展需求，贯彻全寿命周期管理理念，适度超前，新 / 扩建与扩展性改造相结合。

（4）创新规划理念，规范研究方法，有条件的地区应积极开展定量分析和电气计算。

（5）重视电网新技术的应用，提高电网的装备水平和智能化水平。

（6）充分考虑各类新能源、新型负荷的灵活高效接入。

（7）节约土地资源，重视环境保护。

（8）配电网设备要标准化、规范化、系列化，落实公司“三通一标”工作要求。

3. 配电网规划工作的主要步骤

（1）依据导则进行供电分区划分，按照供电分区的划分结果开展规划工作。

（2）根据现状数据收集与分析，对现状电网进行评估。

（3）结合电力需求预测情况，确定规划目标，通过相关电气计算制定相应的各电压等级规划方案。

（4）根据技术经济分析，确定合理的规划方案。

（5）编制规划报告、项目清册规划图集。

7.1.2　配电网综合自动化系统技术基础

1. 概述

配电网改造是实现配电网自动化的前提，没有好的电网不可能实现配电网自动化。由于早期的县级电网已经基本形成，只能在原有配电网的基础上进行改造，且难度大。要力争达到高自动化的目的，应做好统筹规划，装备要符合现代城市的发展要求。城市配电网电力装备的基本要求是：技术上先进、运行安全可靠、操作维护简单、经济合理、节约能源及符合环境保护要求。

配电网的应用是由经济建设决定的。无论是大城市配电网，还是小城市、县级城市，甚至农村配电网，在配电网改造及配电网自动化方面应立足于以下几方面。

（1）立足于国情及城市电网的实际要求，真正解决配电网的实际问题，以符合供电可靠性及用户供电的要求，不搞形式主义、不追潮流，将有限的资金投入到较为实际有效的电网改造中去。

（2）以保证供电可靠性为前提，确保电力用户用电的时效性，满足电力用户的用电需求。较长一段时间以来，电力能源紧缺，限制供电现象较为普遍，但如何确保用户在不限电时避免其他事故对供电的影响，应从用户用电的实际要求出发，做好用户用电

的服务工作，体现用户是上帝的精神，在电力经营部门也应得到体现。①从用户用电的实际要求出发，保证用电的需求，满足用电要求；②提高网络的输送能力，做好网络结构的调整；③提高技术装备的可靠性及运行部门的免维护要求；④完善设备的自动化程度及故障的判断能力。

（3）满足和确保供电的质量。随着城市高新技术装备和居民家用电器用电需求的增加，高峰低谷现象与电能质量是相对应的。除电压幅值、频率以及谐波对用户都将产生不良的影响外，甚至会影响电能的计量，因此要采用调峰、调压来保证电能质量。

（4）降低电网的损耗。电能损耗是电力经营和运行不可避免的，但是损耗由电网结构和输送电负荷的条件来决定，城市电网改造包括改进导线截面，降低线路的电阻率，采用新的输送电金具，减少线路电能损失；采取无功就地补偿，提高功率因数，合理调度和负荷分配，优化网络潮流，做到经济运行。

（5）提高网络的供电能力，减少用户的停电概率。网络的互供能力主要反应网络接线、负荷的合理调整。

（6）采用自动化装备，提高设备的故障判断能力和自动隔离故障，恢复非故障线路的供电条件，选择自动化程度较高的自动化设备。

（7）解决配电网用设备的技术性能，提高设备的自身可靠性和运行能力，尤其是配电网开关设备的操动机构及内部结构适应户外（户内）运行条件，做到不检修周期长，设备运行可靠，以大大减轻运行人员的劳动强度和维护费用。

（8）便于系统的监控，实行配电网的经济调度，实时的网络经济分析，历史数据的记录和查备，事件记录的查询规划。

2. 当前我国配电网存在的问题

配电网的发展需求主要是随城市建设规模、用电负荷迅速增长和供电可靠性要求而提出的。由于城市规划与电力规划的条块分割，形成了不相适应的配电网结构，使配电网规划及发展不适应城市发展的需求。

（1）配电网络电源点落后于城市建设的发展。由于城市规模和商业建筑的限制，电源点容量及电能输出受到限制，尤其是电力线的传输通道。

（2）瓶颈效应比较突出，卡脖子现象严重，电能输不出去，往往因此而引起停电事故。改革开放以来，城市建设速度加快，负荷增长率提高，但电力建设不及时，输出线半径较小，线路较长。

（3）出线通道影响与城市规划不相适应。有的地方改用地下电缆，施工及投资不允许；采用架空导线，环境条件不允许；有的采用绝缘导线，网络复杂的情况较为普遍。

（4）早期建设的线路导线细，年久失修。城市的高能耗设备多，线损率高，由于导线半径小及无功缺额较大，综合线损损耗大。个别地区配电网损耗达到 30%，一般地区在 15% ～ 20%，造成能源大量浪费和环境污染。

（5）供电不可靠因素增大。由于配电网投资不足，设备老化和技术性能低劣，供

电事故频繁，往往是一点故障引发全线甚至大面积停电事故。在城市繁华地段，往往是局部故障引起重要场所、用户停电，影响社会治安及经济市场。

（6）电网结构复杂，环网联络节点较多。

（7）城市电网改造涉及面广，要求较高，停电难度大。

因此，城市配电网实现自动化是一项综合性的工程，最基本的条件是应具有较为完整的多路电源的配电网点，具有较好的城市规划及电源路径的分布，具有各种较为先进的设备。当前，城市建设的规模和经济的发展对配电网提出了较高的要求，各级部门都给予充分的重视，在资金上给予投入，形成了一种较好的外部环境。

3. 配电网系统的接线方案

由于配电网的复杂性，不是单一方案就可以实现配网自动化，对于不同的供电模式，应具有不同的供电方案，以力求达到较完美的条件。

1）环网电缆方案

以电缆作为配电主干线的配电网自动化方案，主要用于城市中商业繁华、人口密集的地方，以环网开关柜为主体。负荷开关柜据所在地域和用户的数量的要求设定出线保护多少，一般为二进（四出），当进出线回路较多，规模更大时可转变为开闭所，环网柜和开闭所中设计量柜、联络等。

环网柜一般以负荷开关与熔断器相配合，当一路电源发生故障后，会有另一路电源快速切换到母线，恢复正常的供电。对开闭所监控系统的通信方式，在放设电缆时一并设置，主要以光纤和市话线为主，以减少干扰。环网柜的主要特点是运行环境较好，外界影响因素较少，也是城市主干道的较好方案。

2）市区架空配网方式

市区架空配网方式一般在城市道路规模较好，两侧路幅较为宽敞的条件下，以裸线架空导线和架空绝缘导线为主。一般情况下是双回路架设，在配电线路上根据用户要求设配电变压器或设双电源，架空线路通常是双电源环网供电方式。

这种配电方式结构简单，布置形式灵活，设备都集中在户外安装，受环境条件的影响较大。正常条件下，R0 为开路运行，B1、B2 分别供电。异常情况下，向另一端自动供电，采用柱上重合器或自动开关来实现。分支线采用分段器与主干线的配电开关相配合，用来隔离支线上的永久性故障。这种方案在一次和二次设备配合的基础上完成自动隔离故障功能。

3）辐射型配电网

辐射型配电网是在市郊和农村配电网络以单电源供电，控制设备由变电站主开关作保护，配电线路可根据需要设置多级重合器和分段器保护，达到自动隔离和恢复供电的条件。在我国现有的经济能力条件和配电网的实际情况下，大量采用断路器（重合器）作为配电网线分支线自动开关，尚不具备充足的资金条件，而以分段器更为合适。

4. 配电网设备基本条件

配电网自动化是近几年来电力应用中的新型技术，主要涉及中低级电网。目前，世界各国对此都十分关注。虽然该技术尚没有明确定论，但至少可以说明配电网自动化不仅仅是配电线路及其设备，还有通信、计算机综合应用、电力（负荷）监控、节能、电网规划等，可归纳为如下几个方面。

（1）可靠安全的供电网络，包括电源点应保证电力输送线路的经济运行、开关变压器等设施的可靠性。

（2）对故障的自动判断和隔离。在人工或自动条件下恢复非故障线路的供电，对故障点进行自我隔离和诊断。

（3）判断系统的运行状况并进行实时监控。采用分布式 SCADA（远动），对配电网所需的信息进行技术处理，对配电网的各种信息进行上发下传，及时反应配电网的运行状况和事故的处理级分析能力。

（4）用电管理包括用户对电能的管理要求，用户对电能管理的意见及要求能够反映到配电管理中心，由配电管理中心对此作出反应和处理，对电能进行调整，对用电负荷进行控制并能经济地调度。

利用用电管理系统可对用户直接或间接地进行控制，这种控制方式一般为人为设定，可以远动操作，也可现场就地操作，与通常的事故处理有不同的管理方式。

5. 配电网自动化通信的主要技术问题

配电网自动化程度的重要标志是通信是否符合自动化的要求。关于自动化通信，通常有两种概念。一种是外围通信，主要是数据以及语言的通道。采用的方法为有线和无线。有线通信分光纤通信、音频电缆通信、电力载波通信；无线通信分微波通信、扩频通信以及无线电通信。城市配电网应结合城区的特殊情况，以及实际应用效果来决定采取哪一种通信方式。另一种通信通常是在计算机上的软件通信，有统一规约。通信规约一般是由设备自身来设定的，同一生产单位的产品规约是一致的。当有不同的生产厂家时，会因通信规约不一致，导致数据传递的失败。

光纤通信是城市配电网通信的主要方式，主要特点是可靠性高，干扰小，不受环境条件的影响，可作为语言、数据和图像的传输方式，是当前较好的通信方式。但是由于光纤设施的费用较高，在使用中受到限制。尤其是在配电网中，因配电柱上的开关及用户分布在沿线，每一开关及用户所需的通信很难从一根多芯的通信光缆中取出。

音频有线是城市电网较为经济和实用的方法。通信的布设及各通信端的连接无特殊要求，造价较低，容易实施，但容易受环境的影响，尤其是与高压配电线路同杆架设，高压的强电场和强磁场对通信线的干扰影响较大。

电力载波是电力系统常用的通信方法。对于无断点的线路（如变电站与变电站之间），已经有成熟的经验，使用效果好。但对于配电网线路，线路上的多台配电变压器以及线

路上开关的断点，使载波通信在配电线路中使用受到了较大的影响。

微波通信在配电网中是很难采用的。考虑到微波通信的接收装置，以及工程投资，城市配电网不适用。扩频通信已广泛应用于各行各业的通信，长距离的通信能体现扩频技术的诸多优点，如抗干扰能力强，保真性高，误码率低，可实现码分多址复用，功谱密度低，发射功率小。但在城市配电网中，柱上开关及配电网变压器的位置很难确定最好的通信环境，其放射信号的接收会受到波传输的影响（绕射功能差）。

计算机通信主要是通信规约问题，我国电力系统采用了标准的通信规约，由国家和行业远动、通信标准来决定，通常的规约为 CDT、POLLIG 等。

近几年来，通信接口以 485 形式出线，增强了通信的传输能量。因此无论配电网采用何种通信方式，对远动装置（RTU）与主站系统的通信必须符合某一规定的要求。

6. 配电网自动化软件应用及信息处理

配电网自动化系统应用软件应建立在较为通用的、符合计算机时代要求的软件平台上，具有相应的开放式支持环境，有通用的按标准程序编写的应用软件和数据库的接口，具有友好的人机界面和屏幕操作，具有应用化的多层次的地理信息系统，符合运行的实际状况。

对于配电网系统，计算机的应用平台必须在操作系统、数据库、用户界面和通信接口上遵循公认的。

7. 发展配电网自动化应注意的问题

分析地区配电网的实际应用情况，找出本地区配电网存在的技术问题。当前，我国配电网处于高速发展的时期，但又处于探索时期，所以在吸收国外先进技术和设备的基础上，应广泛开展中国配电网改造和自动化的研究。

配电网自动化是一项综合性工程，涉及的专业多，规划性强，应根据电网、城市电网的规划进行，避免盲目性。

配电网自动化方案是自动化的核心，在引进国外技术的同时结合国内配电网的实际情况进行分析，国外配电网与国内在很大程度上不尽相同，应有所区别，吸取精华。

配电设备的使用面广、量大而且运行环境较为严酷。设备选择应符合当前配电网形势要求，具有高度可靠性和优越的技术性能，免维护周期长，二次保护控制设备具有可靠性，抗干扰能力及适合户外高温和低温等较为严酷的运行环境，应具有远方通信的接口。自动化程度高，一次开关设备与二次保护装置能良好地配合，能自动实现配电网自动隔离故障，恢复正常供电的能力。

远方通信是自动化的关键技术。RTU 要适合配电网分布（散）式和单点的特点；通信方式应选择通信功能强，误码率小，速度快，符合远方实时监控的功能。

计算机应用软件的开发，首先选择具有开放、兼容的操作平台，对各种标准的数据库应具有连接功能，地理信息应实时反映配电系统的潮流及负荷情况，对事故记录及信

息反馈，可实现负荷控制、远方抄表、设备数据库统计及规划、无功优化的理论计算等。计算机软件功能是配电系统自动化的核心技术，好的软件可充分体现技术和自动化的水平，应充分进行比较。

配电网的工程设施应有计划地分期、分批实施。应确定配电网络的基本条件，如导线截面、输送容量、线路走向及用户的基本条件。先采用具有自动化功能的一次开关设备和二次保护监控设备完成自动送电、故障自动分闸和隔离故障功能，能做到隔离和区分故障点。在条件具备时，再投入通信和计算机网络，可以少走弯路。资金投入可以分批实施。

配电网是当前电网建设的热点，大中小城市都把配电网改造建设及自动化的实施列入工作重点，投入大量的资金和人力。这将对整个电网建设有重大影响，各地区在改造中应慎重对待，尤其是设备引进的技术问题较多。

7.1.3 配电网规划设计技术基础知识

配电网应向用户提供充足、可靠和优质的电能，而经济性、可靠性和灵活性是配电网系统应该具有的品质，故满足一定程度的经济性、可靠性和灵活性是对配电网规划设计的基本要求。

1. 供电能力充分满足用电负荷增长需求

在规划期内应当尽快改善、解决配电网现存的薄弱环节，并使规划期配电网具有足够的供电能力，充分满足预测负荷的需求。

（1）配电网在规划期内、期末常态工况下，能够满足当前负荷和预期负荷增长的需求，配电网所有元部件（包括变压器、供配电线路等一次主设备）运行的负载率在技术经济上合理，电压质量合格，不发生满负荷、过负荷问题。这是最基本的要求。

（2）高中压配电网网架在规划期末或稍长时间内，常态工况下能够满足比预测负荷增长率高的负荷增长需求，而配电网一次主设备不致过负荷，并保持电压质量在规定合格范围内。

（3）配电网网架在规划期或稍长时间内，在规定元部件“N-1”维修工况下，能够通过调度操作调控，满足负荷需求，不致使配电网元部件过负荷。

2. 配电网具有良好的安全供电性能

良好的安全供电性能是指配电网运行满足规定的“N-1”安全准则，即在网络常态工况（含“N-1”维修工况）下，一个元件发生意外故障（如雷击、短路）或设备事故冲击时，配电网及其他元件的安全稳定运行状态不被破坏，仍能保持（或迅速恢复）正常供电而不损失负荷。“N-1”安全准则是检验配电网安全供电能力的基本准则。

3. 提供良好的电能质量

配电网常态工况下应保障终端用户电能质量指标符合国家颁布的五项供电质量标准。其中，电压偏差是对用户用电和配电网安全、经济运行影响敏感的基本指标，主要取决于配电网结构、无功补偿及其调节能力，以及运行方式，需要在配电网规划阶段打下良好基础。供电企业对时有发生的电压不合格现象应制定控制电压合格率的企业标准和相应的实测规则与改进计划。

4. 提供良好的用户供电可靠性

用户供电可靠性表征配电网向用户持续供电的程度，是用户真正感受到供电是否可靠的基本标志。用户供电可靠性指标主要有用户供电可靠率 RS-1 和 RS-3、用户年平均停电时间 AIHC-1 或 AIHC-3、用户年平均停电次数等。世界各国电力公司都对提高用户供电可靠性十分重视，都在采取措施，以不断提高用户供电可靠率和用户满意度。

5. 具有较低的线损率

配电网电能损耗是将电能经由地区配电网向本地用户配送过程中，在该地区高、中、低压配电网及营销环节所产生的损耗和损失。线损越高，供电企业效益就越低。科学地制定规划期末合理的线损率目标，降低线损，是落实节约能源、降低能耗的重要内容，也是供电企业提高经营效益的重要途径。

我国中低压配电网线损率，与发达国家比有较大差距，国内城市电网之间相比，也存在较大差异。从这方面说，科学规划、建设好配电网，合理地降低配电网线损还有一定的潜力。

7.1.4　国家配电网建设改造行动计划重点任务

1. 加强统一规划，健全标准体系

强化配电网统一规划。统一规划城乡配电网，统筹解决城乡配电网发展薄弱问题，促进新型城镇化建设和城乡均等化发展。配电网与市政规划相协调，在配电网规划的基础上，开展电力设施布局规划，将规划成果纳入城乡发展规划和土地利用规划，实现配电网与城乡其他基础设施同步规划、同步建设。电网电源统一规划，优化电源与电网布局，加强规划衔接，促进新能源、分布式电源、电动汽车充换电设施等多元化负荷与配电网协调有序发展。实现输配电网、一次网架设备与二次系统、公共资源与用户资源之间相衔接。

健全配电网技术标准体系。根据区域经济发展水平和可靠性需求，整合和优化已有标准化成果，完善技术标准，明确发展重点，科学指导规划、建设与改造，全面推行模块化设计、规范化选型、标准化建设。

2. 做好供电保障，服务社会民生

实现中心城市（区）高可靠供电。围绕中心城市（区）发展定位和高可靠用电需求，统筹配置空间资源，保护变电站站址和电力廊道落地，高起点、高标准建设配电网，提高供电可靠性和智能化水平，力争 2020 年供电可靠率超过 99.99%，达到国际先进水平。

满足城镇快速增长的用电需求。结合国家新型城镇化规划及发展需要，适度超前建设配电网；紧密跟踪市区、县城、中心城镇和产业园区等经济增长热点，及时增加供电能力，消除城镇用电瓶颈；力争 2020 年供电可靠率超过 99.88%。

提升乡村电力普遍服务水平。继续对未改造农村配电网实施改造，逐年提高乡村配电网供电能力和质量，解决已改造地区出现的新的不适应问题；远近结合、多措并举，加快解决“卡脖子”“低电压”等突出问题，有效缓解春节、农忙等季节性负荷突增引起的供电问题，大幅改善居民生活用电条件；因地制宜对粮食主产区农田节水灌溉、农村经济作物和农副产品加工、畜禽水产养殖等供电设施进行改造，支撑农业现代化建设。力争 2020 年，农村地区供电可靠率不低于 99.72%，用户年均停电时间控制在 24 小时以内，综合电压合格率不低于 97.0%。

加快边远贫困地区配电网建设。做好国家扶贫开发重点县和集中连片特殊困难地区电网规划，加大电网投资力度，切实解决边远贫困地区用电问题。做好偏远地区移民搬迁、游牧民定居等安置点供电保障。通过电网延伸和光伏、风电、小水电等供电方式，解决全部无电人口用电问题。

3. 优化完善结构，消除薄弱环节

切实保障变电站站址和线路廊道规划落地，构建强简有序、相互支援的目标网架，远近结合，科学制订过渡方案。按照供电区“不交叉、不重叠”原则，合理划分变电站供电范围，解决网架结构不清晰问题；合理设置中压线路分段点和联络点，提升中压线路联络率，提高配电网转供能力。

4. 推进标准配置，提升装备水平

推进配电网设备标准化。完善设备技术标准体系，引导设备制造科学发展；优化设备序列，简化设备类型，规范技术标准，推行功能模块化、接口标准化，提高配电网设备通用性、互换性；注重节能降耗、兼顾环境协调，采用技术成熟、少（免）维护、具备可扩展功能的设备；在可靠性要求较高、环境条件恶劣（如高海拔、高寒、盐雾、污秽严重等）以及灾害高发等区域适当提高设备配置标准。

实现配电网装备水平升级。推广应用固体绝缘环网柜、选用节能型变压器、配电自动化以及智能配电台区等新设备新技术；积极开展基于新材料、新原理、新工艺的变压器、断路器和二次设备的研制；在符合条件的区域，结合市政建设，提升电缆化水平，提高城镇地区架空线路绝缘化率；提升设备本体智能化水平，推行功能一体化设备；采

用先进物联网、信息与通信等技术，实现设备、通道运行状态及外部环境的在线监测，提高预警能力和信息化水平。

开展综合管廊建设试点。按照“政府主导、统一规划、科学使用、权责明晰”的原则，大中城市加快启动地下综合管廊示范试点工程，部分中小城市因地制宜建设综合管廊项目。将供水、电力、通信、广播电视、排水等管线进行统一规划、设计和施工，促进城市空间集约化利用。为保障电网安全可靠运行，避免城市综合管廊内管线间相互影响，应独立建设电力舱。

5. 推广适用技术，实现节能减排

应用先进配电技术，科学选择导线截面和变压器规格，提升经济运行水平；加强配电网无功规划和运行管理，实现各电压层级无功就地平衡，减少电能传输损失；推广电能替代，带动产业和社会节能减排；加强需求侧管理，引导用户科学用能，积极参与需求响应，提高能源利用效率，促进节能减排。

6. 提高自动化水平，实现可观可控

加强配电自动化建设。持续提升配电自动化覆盖率，提高配电网运行监测、控制能力，实现配电网可观可控，变“被动报修”为“主动监控”，缩短故障恢复时间，提升服务水平。中心城市（区）、城镇地区推广集中式配电自动化方案，合理配置配电终端，缩短故障停电时间，逐步实现网络自愈重构；乡村地区推广简易配电自动化，提高故障定位能力，切实提高实用化水平。

加强配电通信网支撑。坚持一二次协调的原则，同步规划建设配电通信网；确保通信带宽容量裕度，提高对相关业务的支撑能力；中心城市（区）加强 10kV 通信接入网的光纤建设，有效支撑配电自动化遥控可靠动作和用电信息采集业务；城镇及乡村地区加强 35kV 电网的配套光纤建设，10kV 通信接入网主要采用无线、载波通信方式；积极探索电力光纤通信全业务和增值信息服务模式，全面支撑智能电网建设。2020 年，配电通信网覆盖率达到 95%。

推进用电信息采集全覆盖。加快智能电表推广应用，全面建设用电信息采集系统，推进用户用电信息的自动采集。探索应用多元化、网络化、双向实时计量技术和用电信息采集技术，全面支撑用户信息互动、分布式电源及多元化负荷接入等业务，为实现智能双向互动服务提供信息基础。2020 年，智能电表覆盖率达到 90%。

7.2 配电系统物联网技术实施方法

配电系统物联网技术实施方法、电力系统负荷预测技术及方法、配电网现状问题诊断及发展水平评价、智能配电物联网通信组网技术方法是本节介绍的主要内容。

7.2.1 电力系统负荷预测技术及方法

负荷预测是从已知的用电需求出发，考虑政治、经济、气候等相关因素，对未来的用电需求做出的预测，包括电力需求预测和电能需求预测两部分内容。

对系统规划而言，电力需求预测决定发电、输电、配电系统新增容量的大小；电能预测决定发电设备的类型（如调峰机组、基荷机组等）。对系统运行而言，负荷预测用来合理安排机组起停、检修，以及确定系统的旋转备用容量。事实上，负荷预测在电网调度自动化系统的 EMS 等高级应用软件中起着非常重要的作用。

负荷预测是一项重要的基础性工作。我国对负荷预测的重视程度经历过一个认识的过程。缺电时期，由于控制用电、控制报装等客观原因，造成负荷预测的准确度不高，并且对新方法的应用力度不够。电力市场供需矛盾缓解，局部地区供大于求，甚至出现了供电负增长，电力发展由资源约束转向了需求约束。有些地区的用电仍处于低迷状态。在市场机制下，对负荷预测的重要性和迫切性提到了新的高度，同时也对负荷预测的精度提出了更高的要求。了解负荷预测技术的发展趋势，掌握负荷预测的最新技术，将有助于提高负荷预测的精度、合理调度系统的安全和经济运行方式。

1. 负荷及负荷预测的种类

对负荷类型的划分有许多不同的方法。比较常见的是按全社会用电情况，分为第一、第二、第三产业和居民用电 4 大类；同时按照行业类别将负荷细分为 8 类，即农林牧渔水利业、工业、地质普查和勘探业、建筑业、交通运输邮电通信业、商业饮食物资供销仓储业、居民用电和其他。

根据负荷预测的周期，可按以下两种方法进行分类：一种可分为长期负荷预测（数年至数十年的负荷预测）；中期负荷预测（1 月至 1 年的负荷预测，用于水库调度、机组检修、交换计划、燃料计划等长期运行计划的编制）；短期负荷预测（1 日至 1 周的负荷预测，用于编制调度计划）；超短期负荷预测（未来 1h 以内的负荷预测，其中 5 ～ 10s 的负荷预测用于质量控制；1 ～ 5min 的负荷预测，用于安全监视；10 ～ 60min 的负荷预测用于预防控制和紧急状态处理）。另一种可分为长期负荷预测（20 年以上）；年负荷预测；月负荷预测；日负荷预测；周负荷预测；短期负荷预测（10 ～ 60min）；超短期负荷预测（5 ～ 10s 或 1 ～ 5min）。

按全社会用电或行业类别可分为城市民用负荷预测或商业负荷预测、农村负荷预测、工业负荷预测等。按被预测负荷的特性可分为最大负荷预测、最小负荷预测、平均负荷预测、峰谷差预测、高峰负荷平均预测、低谷负荷平均预测、母线负荷预测、负荷率预测等。

做好负荷预测工作首先应了解负荷预测的机理，并掌握负荷预测技术的特点。

负荷预测主要基于可知性原理、可能性原理、连续性原理、相似性原理、反馈性原理和系统性原理。负荷预测具有以下几个明显的特点，即不准确性或不完全准确性、条

件性、时间性和同一时间不同条件下的多方案性。显然，不可能存在某种方法，它在任何时候、任何地点、对任何对象，都具有普遍的适用性。

2. 负荷预测的步骤

（1）明确负荷预测的内容和要求。根据不同地区、不同时期的具体情况，确定合理的预测内容和预测指标。

（2）调查并搜集资料。要尽可能全面、细致地收集所需要的资料，避免用臆想的数据去填补负荷预测数学模型中所缺少的资料。

（3）基础资料分析。对收集的大量信息去伪存真，提高关键数据的可信度。

（4）经济发展预测。掌握经济发展对电力需求的影响。一般来说，经济增长必然带动电力需求的增长。在这方面要重点关注国家增加投入、扩大内需、结构调整、通货紧缩、企业经营状况及深化改革等因素。

（5）选取预测模型，确定模型的参数。

（6）负荷预测。用预测模型进行负荷预测，给出“上、中、下”几个可能的、较为可靠的预测方案。

（7）结果审核。结合专家经验对预测结果、预测精度及可信度作出评价，用历史数据样本进行检验，并进行自适应修正。

（8）准备滚动负荷预测。积累资料，为下个年度的滚动负荷预测做好准备。

3. 负荷预测的方法

（1）专家预测法。曾经流行的是 Delphi 法，即专家小组预测法。它分为准备阶段、第一轮预测、反复预测（3 ～ 5 次）和确定结论等几个步骤。该方法简单，但盲目性较大。

（2）类比法。对具有相似研究特征的事件进行对比分析和预测，如新开发区的建设，无历史经验可以借鉴，此时可用类比法预测负荷的发展。

（3）主观概率预测法。对不能做实验或实验成本太高、无法接受的方案，请若干专家估计特定事件发生的主观概率，然后综合得出该事件的概率。

（4）单耗法。该方法需做大量细致的调研工作，对短期负荷预测效果较好。

（5）负荷密度法。已知某地区的总人口（总建筑面积或土地面积），按每人平均用电量（即用电密度）计算该地区的年用电量。

（6）比例系数增长法。假定负荷按过去比例增长，预测未来的发展。

（7）弹性系数法。设 x 为自变量，$y=f(x)$ 可导，则 $E_{yx}=(\mathrm{d}y/y)/(\mathrm{d}x/x)$ 称为弹性系数。一般取 x 为国民生产总值，y 为用电量。电力弹性系数的概念从国外引入以来，便被视为衡量电力工业和国民经济发展关系的重要指标。一般而言，$E_{yx}>1$ 表明电力工业的发展超前于国民经济的发展；反之，$E_{yx}<1$ 说明电力工业的发展滞后于国民经济的发展。

但近几年，电力弹性系数连续多年低于 1，而国民经济仍保持较高的增长速度，导致经济增长与用电增长关系处于非正常状态。

这些方法的共同点是，将电力需求作为一个整体，根据某个单一的指标进行预测，方法虽然简单，但比较笼统，且很难反映现代经济、政治、气候等条件的影响。

因此，应该采用先进的计量经济模型、投入产出模型、数学规划模型、气候影响协调模型等进行负荷预测。

4. 负荷预测的新技术

1）趋势外推预测技术

电力负荷虽有随机、不确定的一面，但有明显的变化和发展趋势。根据各行业负荷变化的规律，运用趋势外推技术进行负荷预测能够得到较为理想的结果。外推法有线性趋势预测、对数趋势预测、二次曲线趋势预测、多项式趋势预测、季节性预测和累计预测等方法。

外推法的优点是只需要历史数据，所需的数据量较少；缺点是如果负荷出现变动，会引起较大的误差。

2）负荷回归模型预测技术

根据以往负荷的历史资料，用数理统计中的回归分析方法对变量的观测数据统计分析，确定变量之间的相关关系，从而实现负荷预测的目的。

回归模型有一元线性回归、多元线性回归、非线性回归等回归预测模型。其中，线性回归可用于中期负荷预测。

3）时间序列预测技术

实际问题中，多数预测目标的观测值构成的序列表现为广义平稳的随机序列或可以转化为平稳的随机序列。依据这一规律建立和估计产生实际序列的随机过程模型，并用它进行负荷预测。

时间序列负荷预测方法有一阶自回归、n 阶自回归、自回归与移动平均 ARMA（n，m）预测等。这些方法的优点是所需历史数据少、工作量少；缺点是没有考虑负荷变化的因素，只适用于负荷变化比较均匀的短期预测的情况。

4）灰色预测技术

概率统计追求大样本量，必须先知道分布规律、发展趋势，而时间序列法只致力于数据拟合、对规律性的处理不足。

以灰色系统理论为基础的灰色预测技术，可在数据不多的情况下找出某个时期内起作用的规律，建立负荷预测的模型。

该方法适用于短期负荷预测，而且处于研究和实用化阶段。

5. 负荷预测技术的发展动态

1）优选组合预测技术

优选组合预测技术有两层含义：一是从几种预测方法得到的结果中选取适当的权重加权平均；另一层含义是，可在几种方法中比较，选择标准偏差最小或拟合度最佳的方法。

2）专家系统预测技术

专家系统是基于知识建立起来的计算机系统，它拥有某个领域内专家们的知识和经验，能像专家们那样运用这些知识，通过推理做出决策。实践证明，精确的负荷预测不仅需要高新技术的支撑，同时需要融合人类自身的经验和智慧。

因此就会需要专家系统这样的技术。专家系统预测技术适用于中长期负荷预测。

3）模糊预测技术

建立在模糊数学理论上的一种负荷预测新技术，有模糊聚类预测方法、模糊相似优先比方法和模糊最大贴近度方法等。

4）神经网络

ANN（Artificial Neural Network，人工神经网络）可以模仿人脑做智能化处理，对大量非结构性、非确定性规律具有自适应功能，有信息记忆、自主学习、知识推理和优化计算的特点。这些是常规算法和专家系统技术所不具备的。神经网络预测技术适用于做短期负荷预测，可近似地认为负荷的发展是一个平稳的随机过程；否则，可能会因政治、经济等大的转折导致其模型的数学基础的破坏。

5）小波分析预测技术

小波分析是20世纪数学研究成果中最杰出的代表。它是一种时域－频域分析方法，在时域和频域上同时具有良好的局部化性质。

小波变换能将各种交织在一起的不同频率混合组成的信号，分解成不同频带上的块信息。对负荷序列进行正交小波变换，投影到不同的尺度上，各个尺度上的子序列分别代表原序列中不同“频域”的分量，可清楚地表现负荷序列的周期性。

6）空间负荷预测方法

空间负荷预测方法是20世纪80年代提出的一种负荷预测理论，不仅能够进行负荷预测，而且能对未来负荷的地理位置分布进行预测。

这种方法适用于新建开发区的负荷预测，并能够与DSM、MIS、GIS等结合，实现资源共享，进而使负荷预测和系统规划更全面、更合理。

负荷预测不仅在电力系统规划和运行方面具有重要的地位，而且具有明显的经济意义。从经济角度看，负荷预测实质上是对电力市场需求的预测。负荷预测的准确度对任何电力公司都有较大的影响。

预测值太低，可能会导致切负荷或减少向相临供电区域售电的收益；预测值太高，会导致新增发电容量，甚至现有发电容量不能充分利用，即有些电厂的容量系数太小，造成投资浪费和资金效益低下。

7.2.2 配电网现状问题诊断及发展水平评价

1. 现状问题的分析和评价应注重的几个方面

配电网发展水平分析及现状问题诊断是未来规划重点和规划方向的重要指导，因此做实做细配电网现状水平分析很有必要。现状问题的分析和评价应注重以下几个方面。

1）全面性

诊断应包括高中低压等各个配电网的电压等级，以及网架结构、装备水平、运行状况、发展的协调性等电网的各个方面，甚至包括以往规划的后评价、投资策略和投资收益评价等。

2）差异性

差异性主要体现在应区分不同区域对电网可靠性、供电质量的不同要求，不同的地区应突出重点，如高可靠性地区应着重分析影响供电可靠性的网架、负荷水平、智能化设备等方面，而农网地区应注重分析影响民生的低电压问题、影响生产生活用电的动力电、供电能力不足等问题。

3）具体化

分析不应只体现在指标方面，应对存在问题的设备进行逐条分析，并提出问题的轻重缓急，采用问题明细等方式指导未来的规划建设。

一般规划报告大纲规定现状分析的相关内容，而为了更好地指导规划，可以利用电网综合评价、电网诊断分析等方法进行全面评估，利用针对电网问题的具体内容提出问题编码等手段进行分析。

2. 电网综合评价

对电网综合评价方法目前的研究较多，针对不同电压等级、不同电网方面进行评价。为反映配电网的综合发展水平，便于不同电网进行横向对比，综合评价体系的评价对象应是 66kV 及以下的断面配电网。所谓断面配电网是指在某一个时间点上或者很短的一个时间范围（一年）内配电网本身的各项状态。这种状态仅仅是配电网自身因素所构成的，人为的管理因素并不包括在内，由于所考察的不是一个阶段，因此一些经济性的评价也不适用。通过对这一断面配电网来进行评价，可以体现该断面的某个配电网或者某些配电网的发展建设水平，用于各城市配电网之间进行比较分析，从而实现对配电网发展的指导。

评价分析方法较多，如层次分析法、模糊评价方法、主成分分析法、数据包络分析法、人工神经网络评价法等。评价方法主要包括评价指标确定、指标赋权及评价标准确定等内容。

1）评价指标确定

配电网评价应基于发展目标，确定影响配电网发展的主要因素进行分解，确定相关重要指标。主要评价指标如表 7-1 所示。

表 7-1　配电网综合评价指标体系

一级指标	二级指标
网络结构水平	变电站单电源线率
	变电站单变率
	中压线路联络率
	中压线路平均分段数
负荷供应能力	主变重载率
	线路重载率
	主变“N-1”通过率
	66kV 线路“N-1”通过率
	中压线路“N-1”通过率
	变电容载比
装备技术水平	线路绝缘化率
	供电半径超限线路比例
	高损配变比例
	变电站无功配置比例
	配电网自动化覆盖率

2）指标赋权

指标权重的选取对评价结果的合理性来说至关重要。因为评价的指标选取不可避免地需要人为参与，而一旦指标确定下来，评价对象关于各个指标的值也可立即获知，因此综合评价的结果就完全依赖于权重。权重确定的合理与否，是主观判断，还是客观计算，直接关系到综合评价结果的可信度。

指标权重的确定是综合评价过程中的一个核心问题，其方法主要有主观赋权法、客观赋权法和综合赋权法三类。

（1）主观赋权法。

主观赋权法是基于“功能驱动”原理的赋权法，其实质是根据评价指标的相对重要程度来确定权重系数。这种重要程度的判断主要来自于评价者（或决策者、专家）对指标（或方案）的偏好。这种方法可以充分利用专家的知识和经验，但是赋权的结果也主要依赖于评价者（或决策者、专家）的知识结构、工作经验及偏好等，透明性、再现性差。一般主观赋权法又可分为“指标偏好型”和“方案偏好型”。

指标偏好型是评价者（或决策者、专家）直接对各指标的重要性程度进行比较以获取权重系数的方式。方案偏好型是评价者（或决策者、专家）先对评价对象的优劣进行比较判断，再根据比较信息逆向求取权重系数的方式。

主观赋权法主要包括特征向量法、最小二乘法和序关系分析法等。

（2）客观赋权法。

客观赋权法是为避免确定权重系数时受人为干扰而采取的确定权重系数的方法。其

基本思想是基于“差异驱动”的原理，即权重系数应当是各个指标在指标总体中的变异程度和对其他指标影响程度的度量，赋权的原始信息应该直接来源于客观环境，可根据各指标所提供的信息量的大小来决定相应指标的权重系数。其操作过程主要是针对决策矩阵进行数学处理，以拉开各个方案之间的差距，因此其数据基础来自于决策矩阵。

这种方法虽然通常使用比较完善的数学理论与方法，但是忽略了决策者的主观信息，也忽略了各项指标本身的含义，尤其是通过这种方法确定出的权重只能反映各个评价对象之间的差异，而无法反映指标本身的重要程度。这种方法确定的权重是通过对决策矩阵来进行数学计算得到的，因此必须首先得到各个方案关于每个指标的数据，才能进行计算。当选取的方案不同时，权重很可能会改变，不利于形成统一的评价标准。

（3）综合赋权法。

由于主观赋权法客观性较差，而由客观赋权法所确定的属性权重有时与属性的实际重要性程度相悖，于是人们又提出了综合主、客观赋权法的组合赋权法，其实质是分别通过主观赋权法和客观赋权法计算出权值，然后通过一定的数学方法对两者进行综合。但是这种方法又不可避免地需要先设定评价对象，而不同的评价对象计算出的权值也会不同。

综合赋权法一般有“加法”集成法和“乘法”集成法等。

3. 电网诊断分析

电网诊断分析一般是对电网发展水平和投资策略判断的重要方式。这种分析通过总结现状年电网发展规模与速度、安全与质量、效率与效益以及企业经营与政策等方面的状况，确定电网发展仍然存在的薄弱环节和管理短板，并查找原因，提出解决措施。

诊断分析指标主要分为六个方面。

一是电网规模诊断指标。通过电量、负荷增长率、变（配）电容量年均增长率、线路长度年均增长率、容载比等指标，评价电网规模增长与经济社会发展、负荷及电量增长的适应性。

二是安全可靠诊断指标。以《电力安全事故应急处置和调查处理条例》《电力系统安全稳定导则》等标准为基础，通过短路电流、“N-1”通过率、暂稳水平、热稳水平、供电可靠率等指标，系统评价电网运行安全稳定水平和可靠性。

三是效率诊断指标。通过线路利用率、主变负载率等指标，分析电源送出、负荷馈供、电网主网架等不同功能线路及主变的利用效率。

四是设备诊断指标。通过设备运行年限、输变电资产退役设备平均寿命、变电和线路造价指标、配电自动化终端覆盖率等指标，评价电网装备水平、自动化程度。

五是经营诊断指标。通过收入利润率、资产负债率、单位电量输配电成本等指标，评价企业经营状况和可持续发展能力，开展投资、售电量、电价、利润之间的敏感性分析。

六是政策诊断指标。通过销售电价、上网电价、购销差价、趸售电价、购销差价调

增量占平均销售电价调增量的比重、地方政府划拨土地、提供建设配套资金等支持电网发展政策，评价电网发展外部政策环境。

7.2.3　智能配电物联网通信组网技术

经过多年来的投资建设，我国电力通信系统的主干网络已基本实现了传输媒介光纤化，业务承载网络化，运行监视和管理自动化和信息化。最重要的接入层网络的配电通信网，却因为诸多因素的影响，制约了智能配用电业务的应用。好在无源光网络技术、全球微波接入互操作和电力线载波与正交频分复用（OFDM）已成熟，并在我国电信运营商网络和智能电网试点工程中得到应用，提高了传输带宽的可靠性，成为近年来研究的热点，并成为智能配用电通信组网的发展趋势。

1. 智能配电通信网技术的现状及发展需求研究

目前，配电通信网是我国主要的城市配电自动化系统。从总体上看，配电自动化的通信系统在东部沿海地区发展情况较好，发展水平较高，覆盖率相对较高。而中、西部地区发展较为缓慢，只有少数地区被覆盖。总的来说，我国配电通信网多采用光调制解调器、工业以太网、以太网无源光网络、中压电力线载波、无线公网等通信方式。在错综复杂的电网系统中，由于缺少统一的网络规划和技术体制，导致各地区电力通信发展良莠不齐，基础性资源得不到有效利用，严重制约着我国智能配电网通信技术的发展。

随着我国对智能配电网通信技术的重视，该项技术也有了一定的发展。同时，对通信网的实时性和传输带宽等方面有了更高的要求。配电自动化系统所涉及的有关对开关设备的控制，要求按照配电网技术规范。规定开关量变位传送到主站时间应小于 10s，重要遥测越定值传送时间也必须小于 10s，系统控制操作响应时间小于 5s。配电网通信组网还要集成智能厢电网的语音、数据和视频信息等功能。

2. 几种智能配电网通信技术的研究

目前，适用于配电网的通信技术主要有 PON、WiMAX 和宽带 PLC。

1）对无源光网络技术的研究

PON 技术是一种一点控制再到多点结构的单纤双向光接入网络，俗称无源光网络。由系统侧的光线路终端、光分配网络和用户侧的光网络单元组成。光线路终端一般被放置在中心机房，它既是交换机，又是一个服务于用户的平台，还会提供一个或多个面向无源光网络的光纤接口。光分配网络被放置在用户设备端附近，有的还会与用户设备端合为一体，提供面向用户的多种业务接入。运营机构会根据用户侧的光网络单元所处位置的不同，把无源光网络的应用模式分为光纤到路边、到大楼、到办公室及光纤到家等四种类型。光分配网络在完成光信号功率的分配后，会为光线路终端和光分配网络之间提供光传输通道，以更加方便地完成传输任务。

PON 系统从光线路终端到下连接的多个用户侧的光网络单元进行传输数据，一般会采用广播的方式进行。按照 IEEE 802.3ah 协议的相关规则，每个数据帧的帧头包含之前注册时分配的特定用户侧光网络单元的逻辑链路标识。这一标识是为了表明，本数据帧是给用户侧光网络单元独有的。另一方面，部分数据帧可以是给所有的广播式和组播用户侧光网络单元。一些来源于多个用户侧光网络单元到光线路终端上行的数据，一般采用时分多址技术，分时隙给用户侧光网络单元传输上行流量。光线路终端则会根据系统的配置，给用户侧光网络单元分配特定的带宽，或采用动态带宽分配策略。

2）对全球微波接入互操作技术的研究

WiMAX 是一种无线宽带城域网接入技术，一般称为全球微波接入互操作，能够最大限度地实现同定和移动用户的无线高速接入。全球微波接入互操作网络体系是核心网和接入网的总称。核心网包含网络管理系统、路由器、用户数据库以及网关设备等，主要是用来实现用户认证和网络管理等功能的，同时还会提供与其他网络之间的接口。接入网则包含了基站和移动用户站，其主要为全球微波接入互操作用户提供无线接入。

3）对电力线载波通信技术的研究

PLC 是电力系统特有的通信方式，学名是电力线载波通信。它是利用电力线缆作为传输媒质，并通过载波方式传输语音和数据信号。电力线载波通信已在 35kV 以上的高压输电线路中被大量应用，承载着调度电话和继电保护信息的作用。目前，中低压电力线载波一般是为远方集中自动抄表系统提供数据传输通道。从另一方面来看，电力线载波信道复杂多变，需要克服的技术困难比较严峻。所以，需要采取编码调制技术来提高信息传输的带宽。

3. 智能配电网通信组网方式

智能配电网通信组网可以分为两种方式。一种是配网自动化覆盖区域内。配网自动化站点涉及范围广泛，主要包含开闭所、配电室和柱上开关等，用来达到遥信、遥测和遥控功能。其相对于过去的技术来说更加安全可靠、带宽要求更高。应用高分光比的无源光网络系统，能够实现在有限的时间内对目标配电网区域实现快速覆盖，并合理地安排光分配网络配置。根据配网信息点随配网线路链状串接的特点，该网络宜采用不均等分光器，以保证网络灵活性和扩展性。可见，无源光网络技术以其特有的技术优势成为了配网自动化站点信息接入系统的首选。所以，通信网适合用光纤方式。另一种组网方式是配网自动化覆盖区域外。配网自动化覆盖区域外的配电通信网建设，全球微波接入互操作传输带宽要求相对较低，是较好的组网方式，但考虑国家政策限制等因素，目前宜采用同样投资少、建设周期短的宽带 PLC 专网或 L1rE 无线公网方式。

智能配电网通信组网是电力通信网的重要组成部分，也是配电业务应用的重要支持系统。对该技术的研究不仅能够实现配电通信网的快速布网，还能满足智能配电业务对通信带宽和可靠性的要求，取得利国利民的效果。

7.3　配电系统物联网工程实际案例分析

配电物联网自动化通信协议设计应用、配电网系统网架结构设计应用、配电物联网自动化技术设计应用、配电网物联系统用户接入设计应用是本节介绍的主要内容。

7.3.1　配电物联网自动化通信协议设计应用

配电物联网自动化是提高配电网运行管理水平、缩短停电时间、提高供电可靠性和服务质量的一项有力措施，而配电网自动化又依赖于可靠的通信系统。目前，用于电力系统主网调度自动化的通信协议并不完全适用于配电网自动化，所以应结合配电网的自身特点研究适合于配电自动化的通信协议。

1. 101、104 规约在国内配网自动化方面的应用情况

IEC 60870-5-101 及 IEC 60870-5-104 协议自发布以来，在我国已得到广泛应用。紧接着我国电力行业就发布了与之等同的 DL/T634.5.101—2002 和 DL/T634.5.104—2002 协议。由于该协议属于 Polling 通信方式，解决了以往 CDT（DIA 51/91）规约容量较小的限制，同时可以实时监视整个远动通道的质量。但 IEC 60870-5-101/104 协议提供给用户的可选项较多，可配置的参数太多，对于电力系统应用人员来说，反而不易把握参数的选配以及应用功能的选择。同样的原因，也会导致不同的应用人员根据自己的理解选取其中不同的应用功能选项和参数，造成不同的调度中心有不同版本的 101/104 协议，各自动化设备厂家需针对每个调度中心开发相应版本的 101/104 协议通信程序。为了保证厂站端的信息能被调度共享，减少维护工作量，提高工作效率，须将其进行扩展，以适应调度、运行维护的需要。

2. 配电物联网自动化通信规约结构及一般规则

104 规约是以 101 规约为基础的基于 TCP/IP 协议簇的网络通信规约，该规约作为采用标准传输协议子集的 101 规约的网络访问，其应用层 ASDU 与 101 规约基本一致，因此将重点围绕配网 101 规约实施细则，介绍配网自动化通信规约技术特点及实施措施。

1）一般规则

配网自动化 101 规约实施细则在 101 规约实施细则基础上，结合配网自动化数据传输特点，增加了 101 规约的平衡方式传输，并对不同通信介质做了相应的规定，取消了单字符 E5，链路确认及报文确认帧均采用固定帧长格式。此外，根据配网自动化所使用终端数量以及区域划分，对链路地址和数据公共单元地址做了相应的调整。下面介绍其一般规则。

（1）采用非平衡方式传输和平衡方式传输，在配电网自动化中，电力载波通信方式采用非平衡方式；无线 GPRS/CDMA 通信方式采用平衡方式。

（2）本规约实施细则在配电自动化系统应用时，如果通信网络介质采用光纤，建议采用广西配电网自动化 DL/T634.5104—2002 规约实施细则。

（3）通信参数有串行、异步、1 位起始位、1 位停止位、1 位偶校验位、8 位数据位。

（4）报文校验方式为纵向校验。

（5）固定帧长是 6 字节。

（6）可变帧长的帧最大长度应是一个可以改变的参数（这个参数主要是对站端设备要求）。

（7）通信的双方严格遵循帧计数位（FCB）、帧计数有效位（FCV）的有效、无效和翻转确认、不翻转重发的原则。

（8）2 字节的链路地址。

（9）2 字节的数据公共单元地址。

（10）1 字节传送原因。

（11）2 字节信息元素地址（每种类型信息元素地址必须连续且不重复）。

（12）平衡方式下，在监视方向上所有数据均需要确认。

2）规约结构

配网自动化 101 通信规约结构为基于《远动设备及系统　第 5 部分：传革命规约第 3 篇：应用数据的一般结构》（GB/T 18657.3—2002）第 4 节规定的三层参考模型“增强性能体系结构（EPA）”。EPA 模型和配网自动化 101 规约所选用的标准定义。

配网自动化 104 通信规约结构，为本规约推荐使用的 TCP/IP 协议子集（RFC2200）。

3）物理层

在城市配电网自动化试点中采用了光纤工业以太网、无线 GPRS/CDMA 两种通信模式。104 规约支持上述两种通信方式。101 规约的物理层从 ISO 和 ITU—T 标准中选用，在所要求的介质上提供了二进制对称无记忆传输，以保证链路层所定义的组编码方法高的数据完整性。

4）链路层

配网自动化通信规约遵循《传输帧格式》（GB/T 18657.1—2002）和《链路传输规则》（GB/T 18657.2—2002）的要求，同时结合配网自动化通信过程的实际需求，采用了 GB/T 18657.1—2002 中 6.2.4.2 定义的帧格式 FT1.2 中的 2 种：固定帧长和可变帧长。

链路层由采用明确的链路规约控制信息（LPCI）的许多链路传输过程组成，此链路控制信息可将一些应用服务数据单元（ASDU）当作链路用户数据，链路层采用帧格式的选集能保证所需的数据完整性、效率以及传输方便性。链路层传输顺序为低位在前，高位在后；低字节在前，高字节在后。

（1）固定帧长格式主要用于链路状态管理、数据召唤、报文确认。

（2）可变帧长格式主要用于信息报文、控制命令，即用于主站与终端之间的信息

交换。

（3）链路传输规则。如果是非平衡传输，配电主站、配电终端以问答方式进行通信，配电终端只能响应配电主站召唤或接受配电主站的命令，不能主动向上发送报文。如果是平衡传输，一般情况下配电主站、配电终端以问答方式进行通信；在特定情况下（如事件过程，终端就地初始化过程等），配电终端可以主动发送报文。

5）应用层

配网自动化通信规约按照 IEC 60870-5-3 的一般结构来定义相应的 ASDU，采用 IEC 60870-5-4 中应用信息元素的定义和编码规范来构建应用服务数据单元。配网自动化通信规约结合配网自动化实际需求对应用服务数据单元部分内容做了简化和修改。

（1）ASDU 公共地址参照链路地址做了相应修改，增加成 2 字节。

（2）简化类型标识（TI），保留了配网自动化系统常用应用报文类型，如测量值统一采用归一化值（类型标识为 <9>、<34>），取消双点命令等。

（3）结合《电网公司配电网自动化规划导则》和《电网公司配电网自动化系统技术规范》将架空线路馈线终端（FTU）、站所终端（DTU）的遥信和遥测采集信息量分类为重要信息量和次要信息量。

（4）简化传送原因（COT）中的“响应组召唤”，保留响应第 1 组召唤（<21>inro1）、响应第 2 组召唤（<22>inro2）、响应第 9 组召唤（<29>inro9）、响应第 10 组召唤（<30>inro10），并对组号分配做了如下定义：01 组为重要遥信信息，02 组为次要遥信信息，09 组为重要遥测信息，10 组为次要遥测信息，03-08 组和 11-12 组预留。

（5）配网自动化通信规约根据 DL/T634.5101—2002 远动协议南方电网实施细则的推荐意见和配网自动化实际情况，对应用数据进行了分级。

3. 通信过程

1）正常通信过程

配网自动化正常通信过程主要包括初始化、站召唤、时钟同步、遥控、事件上报以及测试等，配网自动化 101 规约实施细则对站召唤进行了修正，根据配网自动化通信通道及数据流量的实际要求，提出了定时总召唤与手动组召唤共同进行的方式，配电主站采用定时总召唤。在特定情况下，配电主站可采取手动组召唤，并且可选择召唤某几组数据，以保证重要数据的召唤成功率。

相比主网调度自动化常用的非平衡传输方式，配网自动化所采用的平衡传输方式支持配电终端事件自发上报，事件自发地产生于配电终端的应用层。需要进行特别说明的是，针对遥信变位的事件报告，配电终端发生一次状态变位事件后，配电终端向配电主站需要传输两次信息。第一次先传不带时标的状态变位信息（Change Of State，COS），在稍后时间内传输带该状态变位的时间信息（Sequence Of Event，SOE）。为此终端处理需用两个事件缓存收集从被控站到控制站尚未来得及传输的事件，一个用于 COS，一个用于 SOE。

为了检测链路状态，配网自动化 101 通信规约实施细则增加了链路测试（TI=104）和心跳测试命令。测试命令主要用于检查从主站到终端及其返回全部路径的完整性，支持手动触发测试过程，主站发出“测试命令”报文，终端返回镜像报文，即“测试确认”报文。主站通过比较已发送的“测试命令”和镜像报文是否相同来判断。如果两个报文一致，则其测试结果正常。心跳测试用于在通道空闲时测试平衡传输系统的链路连接状态，该过程采用固定帧长格式的报文进行通信，配电主站发送功能码“发送 / 确认链路测试功能”（FC=2），配电终端回复“认可确认”（FC=0）。

2）异常通信过程

配网自动化异常通信过程主要包括受干扰的“发送 / 确认”过程、受干扰的“请求 / 响应”过程、通信恢复以及配电终端功能程序异常等过程。对于配电终端功能程序异常，当在发送 / 确认过程中，配电终端回复“否定”固定帧报文，主站则进行报文重发，经过最大的报文重发次数（可设置）后终端仍回复“否定”固定帧报文，则由配电主站相应异常处理功能进行处理，处理过程不是通信规约讨论的范围。

为进一步加强各自动化厂家与各调度端通信程序的一致性，使配电网 101/104 规约应用水平达到新的高度，配网自动化设备生产厂家须进一步实现设备的统一接口、统一标准，这对提高配网自动化系统的实用性和可靠性有重要意义。

7.3.2 配电网系统网架结构设计应用

1. 高压网架结构

高压配电网的电网结构按照惯例可分为辐射、环网、链式等，每种结构的变电站接入方式包括 T 接方式、π 接方式等，下面对每种典型结构的优缺点和适用范围等进行介绍。

1）辐射接线结构

从上级电源变电站引出同一电压等级的一回或双回线路，接入本级变电站的母线（或桥），末端与电源点连接的，称为辐射结构。辐射结构分为单辐射和双辐射两种类型。接入该结构中的 110（66）kV 变电站主接线通常采用单母线（分段）、桥式接线、线变组接线。

（1）单辐射结构。

单辐射是由一个电源的一回线路供电的辐射结构。单辐射结构中，110（66）kV 变电站主变台数为 1 ～ 2 台。1 台主变时主接线可以采用单母线、线变组，线路及主变均不满足“N−1”要求；2 台主变时主接线可以采用桥接、单母线及线变组，此时主变可以满足“N−1”，但线路不满足“N−1”要求。

（2）双辐射结构。

双辐射是由同一电源的两回线路供电的辐射结构。双辐射一般采用两台主变，主接线可以采用单母线（分段）、线变组，而且两种方式下可靠性基本一致。

该结构的优点是接线简单，对于上级电源要求较低，且通道需求较少，相对造价较低。缺点是该结构中的 110（66）kV 变电站只有来自同一电源同一通道的进线，可靠性较差，在上级变电站全停或通道线路“*N*-2”时，将造成变电站全部停电。

双辐射适用于上级变电站布点稀疏、可靠性要求不太高的地区，或者作为网络形成初期、上级电源变电站布点不足时的过渡性结构。

2）环式结构

从上级电源变电站引出同一电压等级的一回或双回线路，接入本级变电站的母线（或桥），并依次串接两个（或多个）变电站，通过另外一回或双回线路与起始电源点相连，形成首尾相连的环形接线方式，一般选择在环的中部开环运行，称为环网结构。接入该结构中的 110（66）kV 变电站主接线通常采用单母线分段、桥式接线。

（1）单环结构。

该结构由同一电源站不同路径的两回线路供电，站间单回联络线路，一般适用于 1 或 2 台主变，主接线采用单母线（分段）、桥接。

（2）双环结构。

该结构由同一电源站不同路径的四回线路供电，站间两回联络线路。

（3）不完全双环结构。

由同一电源站不同路径的四回线路供电，站间一回联络线路。

环式结构中只有一个电源，变电站间为单线或双线联络。优点是对电源布点要求低，扩展性强。缺点是供电电源单一，网络供电能力小。环式结构适用于负荷密度低，电源点少，网络形成初期的地区。

3）T 接结构（单侧电源，双侧电源）

由上级电源变电站同一电压等级的一回或多回线路，从线路上 T 接支线作为变电站一台主变的电源，构成形如英文字母 T 的接线方式，称为 T 接结构。接入该结构中的 110kV 变电站主接线一般采用线路变压器组。

（1）单侧电源双 T 结构。

该结构由同一电源的两回线路供电。当一回线路停运时，将影响接在该线上的 2 座变电站。

（2）双侧电源不完全双 T 结构。

该结构由不同电源的两回线路供电。双侧电源不完全双 T 结构相比于单侧电源双 T 结构，供电可靠性有了较大提高。正常运行时只有一侧送电，一侧电源退出时另一侧电源自动投入。

（3）双侧电源双 T 结构。

该结构由不同电源的四回线路供电。双侧电源双 T 结构相比于双侧电源不完全双 T，供电可靠性又进一步提升。正常运行时只有一侧送电，一侧电源退出时另一侧电源自动投入。任两回线路故障或检修，具所带负荷可由另外两回线路转带。

（4）双侧电源不完全三 T 结构。

该结构任一回线路故障或检修，造成一台或多台主变失电，可由另外三回路供电。

（5）双侧电源三 T 结构。

该结构能够满足“N-1”安全准则，任一回线路故障或检修，其所带负荷可由对侧电源所出线路转带。

该结构的优点是变电站接线简单，占用 220kV 出线间隔和 110kV 出线走廊少，每座 110kV 站接入的电源点多，投资较省（无母线、开关少、线路回数少）；该结构的缺点是任一条线路故障影响范围较大，对中压配网互供能力要求较高。该结构主要适用于负荷密度大、周围 220kV、110kV 站布点多、线路距离较短的区域，如城市中心区、高能耗工业区等。

4）链式结构（双侧电源）

从上级电源变电站引出同一电压等级的一回或多回线路，依次 π 接 2 个或以上变电站的母线（或环入环出单元、桥），末端通过另外一回或多回线路与其他电源点相连，形成链状接线方式，称为链式结构。

（1）单链结构。

该结构由不同电源站的两回线路供电，站间一回联络线路。

（2）完全双链结构。

该结构由不同电源站的四回线路供电，站间两回联络线路。

（3）不完全双链结构。

该结构由不同电源站的四回线路供电，站间一回联络线路。

（4）三链结构（环入环出）。

该结构由不同电源站的六回线路供电，变电站主接线采用环入环出方式。

该结构的优点是运行灵活，供电可靠，限制条件少。缺点是出线回路数多，投资大。链式适用于对供电可靠性要求高、负荷密度大的繁华商业区、政府驻地等。

2. 中压网架结构

中压配电网结构主要有双环式、单环式、多分段适度联络和辐射状结构。

1）架空网网架结构

中压架空网的典型接线方式主要有辐射式、多分段单联络、多分段多联络 3 种类型。

（1）辐射式。

辐射式接线简单清晰，运行方便，建设投资低。当线路或设备故障、检修时，用户停电范围大，但主干线可分为若干（一般 2 ～ 3）段，以缩小事故和检修停电范围；当电源故障时，将导致整条线路停电，供电可靠性差，不满足“N-1”要求，但主干线正常运行时的负载率可达到 100%。有条件或必要时，可发展过渡为同站单联络或异站单联络。

辐射式接线一般仅适用于负荷密度较低、用户负荷重要性一般、变电站布点稀疏的

地区。

（2）多分段、单联络式。

多分段、单联络式是通过一个联络开关，将来自不同变电站（开关站）的中压母线或相同变电站（开关站）不同中压母线的两条馈线连接起来。一般分为本变电站单联络和变电站间单联络两种。

多分段、单联络结构中任何一个区段故障，闭合联络开关，将负荷转供到相邻馈线完成转供，满足“N-1”要求，主干线正常运行时的负载率仅为 50%。

多分段、单联络结构的最大优点是可靠性比辐射式接线模式大大提高，接线清晰，运行比较灵活。线路故障或电源故障时，在线路负荷允许的条件下，通过切换操作可以使非故障段恢复供电，线路的备用容量为 50%。但由于考虑了线路的备用容量，线路投资将比辐射式接线有所增加。

（3）多分段、多联络式。

多分段、多联络式采用环网接线开环运行方式，分段与联络数量应根据用户数量、负荷密度、负荷性质、线路长度和环境等因素确定。一般将线路 3 分段、2 ～ 3 丁联络，每条线路负荷电流控制在 300A 以下，每一分段的负荷电流控制在 70 ～ 100A。线路分段点的设置应随网络接线及负荷变动进行相应调整。

三分段、两联络结构是通过两个联络开关，将变电站的一条馈线与来自不同变电站（开关站）或相同变电站不同母线的其他两条馈线连接起来。

三分段、两联络结构最大的特点和优势是可以有效提高线路的负载率，降低不必要的备用容量。在满足“N-1”的前提下，主干线正常运行时的负载率可达到 67%。

三分段、三联络是通过三个联络开关，将变电站的一条馈线与来自不同变电站或相同变电站不同母线的其他三条馈线连接起来。任何一个区段故障，均可通过联络开关将非故障段负荷转供到相邻线路。

在满足“N-1”的前提下，主干线正常运行时的负载率可达到 75%。该接线结构适用于负荷密度较大、可靠性要求较高的区域。

2）电缆网网架结构

中压电缆网的典型接线方式主要有单射式、双射式、对射式、单环式、双环式、N 供一备式 6 种。

（1）单射式。

单射式是自一个变电站或一个开关站的一条中压母线引出一回线路，形成单射式接线方式。该接线方式不满足“N-1”要求，但主干线正常运行时的负载率可达到 100%。

单射式是电网建设初期的一种过渡结构，可过渡到单环网式、双环网式或 N 供一备式等接线方式，在供电可靠性要求高的地区（如城市中心区）一般不采用单射式接线方式。

（2）双射式。

双射式接线是自一个变电站或一个开关站的不同中压母线引出双回线路，形成双射

接线方式；或自同一供电区域不同方向的两个变电站（或两个开关站）；或同一供电区域一个变电站和一个开闭所的任一段母线引出双回线路，形成双射接线方式。

双射式接线一般为双环式或 N 供一备式接线方式的过渡方式。由于对用户采用双回路供电，一条电缆本体故障时，用户配变可自动切换到另一条电缆上，因此用户能够满足“N-1”要求，但要求主干线正常运行时最大负载率不能大于 50%。双射式适用于容量较大的不适合以架空线路供电的普通用户，一般采用同一变电站不同母线或不同变电站引出双回电源。

（3）对射式。

对射式接线是自不同方向电源的两个变电站（或两个开关站）的中压母线馈出单回线路组成对射式接线，一般由改造而成。

对射式接线与双射式接线类似，为双环式或 N 供一备式接线方式的过渡方式。由于对用户多采用双回路供电，一条电缆故障时，用户配变可自动切换到另一条电缆上，因此用户能够满足“N-1”要求，但要求主干线正常运行时最大负载率不能大于 50%。对射式适用于容量较大的对可靠性有一定要求的用户。

（4）单环式。

单环式是自同一供电区域的两个变电站的中压母线（或一个变电站的不同中压母线）、两个开关站的中压母线（或一个开关站的不同中压母线）或同一供电区域一个变电站和一个开闭所的中压母线馈出单回线路构成单环网，开环运行。

单环式的环网点一般为环网柜、箱式站或环网配电站。与架空单联络相比，它具有明显的优势。由于各个环网点都有两个负荷开关（或断路器），可以隔离任意一段线路的故障，客户的停电时间大为缩短。同时，任何一个区段故障，闭合联络开关，将负荷转供到相邻馈线完成转供。在这种接线模式中，线路的备用容量为 50%。一般采用异站单环接线方式，不具备条件时采用同站不同母线单环接线方式。单环式接线主要适用于城市一般区域（负荷密度不高、可靠性要求一般的区域）。这种接线模式可用于电缆网络建设的初期阶段，对环网点处的环网开关考虑预留。随着电网的发展，在不同的环之间通过建立联络，就可以发展为更为复杂的接线模式（如双环式）。

（5）双环式。

双环式是自同一供电区域的两个变电站（开关站）的不同段母线各引出一回线路或同一变电站的不同段母线各引出一回线路，构成双环式接线方式。如果环网单元采用双母线不设分段开关的模式，双环网本质上是两个独立的单环网。

采用双环式结构的电网可以串接多个开闭所，形成类似于架空线路的分段联络接线模式。当其中一条线路故障时，整条线路可以划分为若干部分被其余线路转供，供电可靠性较高，运行较为灵活。双环式可以使客户同时得到两个方向的电源，满足从上一级 10kV 线路到客户侧 10kV 配电变压器的整个网络的“N-1”要求，供电可靠性高，运行较为灵活。在满足“N-1”的前提下，主干线正常运行时的负载率为 50% ～ 75%。双环式接线适用于城市核心区、繁华地区，重要用户供电以及负荷密度较高、可靠性要求较

高熟的区域。

（6）N 供一备式。

N 供一备式是指 N 条电缆线路连成电缆环网运行，另外一条线路作为公共备用线。非备用线路可满载运行，若有某一条运行线路出现故障，则可以通过切换将备用线路投入运行。

N 供一备式结构随着供电线路条数 N 值的不同，线路的利用率为 $\frac{N}{N+1}$，电网的运行灵活性、可靠性和线路的平均负载率均有所不同。虽然 N 越大，负载率越高，但是运行操作复杂。当 N 大于 4 时，接线结构比较复杂，操作烦琐，同时联络线的长度较长，投资较大，线路负载率提高的优势也不再明显。N 供一备式接线方式适用于负荷密度较高、较大容量用户集中、可靠性要求较高的区域，建设备用线路亦可作为完善现状网架的改造措施，用来缓解运行线路重载，以及增加不同方向的电源。

7.3.3　配电物联网自动化技术设计应用

配电自动化对提高电网供电可靠性，保证配电网的可视、可控、可调，为精益化运行和调度提供物理基础。配电自动化规划应遵循经济实用、标准设计、差异区分、统筹规划、同步建设的原则，全面提升配电自动化应用水平，全面支撑配电网精益管理和精准投资，不断提高配电网供电可靠性、供电质量和效率效益。

1. 协调性要求

各类供电区域内的配电网新建工程应按照区域配电自动化建设标准，一次设备选型一步到位，并同步配置终端及通信网，避免因配电自动化实施带来的后续改造和更换。

各类供电区域内的配电网改造工程应结合配电自动化建设需求，匹配不同的终端和通信建设模式开展建设改造，避免一次设备大拆大建。

配电网建设、改造工程中涉及电缆沟道、管井建设改造及市政管道建设时应一并考虑光缆通信需求，同步建设或预留光缆敷设资源，并考虑敷设防护要求；排管敷设时应预留专用的管孔资源。

各类供电区域内重要用户分支处应安装自动隔离用户内部故障的开关设备（达到“二遥”及以上要求）。

配电自动化主站应与一次、二次系统同步规划与设计，考虑未来 5 ～ 15 年的发展需求，确定主站建设规模和功能。

配电自动化系统与调度自动化系统、PMS 等其他信息系统之间应统筹规划，满足信息交互要求，为配电网全过程管理提供技术支撑。配电自动化系统应能用于配电网可视化、供电区域划分、空间负荷预测、线路及配变容量裕度等的计算分析，指导用电客户、分布式电源、电动汽车充换电设施等的有序接入，为配电网规划设计提供技术支撑。

2. 故障处理模式规划原则

根据供电可靠性要求，合理选择故障处理模式，并与继电保护、备自投、自动重合闸等协调配合。

故障处理模式主要分为两类，即馈线自动化与故障监测方式。馈线自动化包括去全自动化集中式处理模式、半自动集中式处理模式、智能分布式处理模式、就地重合式几类。其中，集中式处理模式需要主站系统参与，通过系统既定原则或者人为干预的方式进行故障的切除和非故障地区恢复供电。集中式的馈线自动化需要主站系统支持，对故障预案或操作人员对故障处理规则要求较高，同时需要终端与主站之间的通信速度和可靠性较高。智能分布式需要不同终端之间进行通信判断故障区域，同时对故障进行切除和非故障区域恢复供电，该方式需要通信方式的可靠性和及时性，造价相对较高。就地重合式需要在终端配置重合器，通过多次重合配合判断出故障的位置，相对来说，就地重合式造价较低，不需要全线配置通信线路，但可靠性相对较差。

A+、A 类供电区域以集中式馈线自动化为主；B、C 类供电区域，架空线路优先采用就地重合式馈线自动化，电缆线路采用集中式馈线自动化；D 类供电区域以故障监测方式为主，可根据网架分段情况采用就地重合式馈线自动化。

3. 主站规划原则

采用“主站 + 终端”两层结构，按照“地县一体化”构建新一代配电自动化主站，在遵循主站安全分区原则下，实现二遥（遥信、遥测）数据管理信息大区采集应用，生产控制大区、管理信息大区系统均分散部署。已建主站逐步向新一代主站平滑升级。

充分考虑系统维护的便捷性和规范性，主站应保证实现“功能应用统一、硬件配置统一、接口方式统一、运维标准统一”。

基于信息交换总线，实现与 PMS2.0 等系统的数据共享，具备对外交互图模数据、实时数据和历史数据的功能，支撑各层级数据纵、横向贯通以及分层应用。

安全防护遵循国家发展与改革委员会第 14 号《电力监控系统安全防护规定》以及国家电网调 [2011]168 号《中低压配电网自动化系统安全防护补充规定》等文件有关要求，遵循合规性、体系化和风险管理原则，符合“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的安全策略。

主站数据库服务器历史数据存储时间按照 3 年考虑。

4. 终端规划原则

终端配置主要按照差异化原则，满足不同类型供电区域供电可靠性要求。

“三遥”指遥信、遥测和遥控。“二遥”包括动作型二遥、就地重合式二遥和基本型二遥（故障指示器）。

（1）A+、A 类供电区域以“三遥”终端为主。

（2）B、C 类供电区域的主干线分段开关配置“三遥”或就地重合式“二遥”终端

的数量不宜超过 3 个，联络开关按需配置“三遥”终端，分支线可安装“二遥”动作型终端，开关站宜配置“三遥”终端。

（3）D 类供电区域以故障指示器为主，重要主干线联络开关、开关站可采用动作型“二遥”配电终端（二级及以上负荷用户供电分支开关或变压器高压侧开关采用“二遥”）。

5. 通信网规划原则

配电通信网建设应与配电网一次网架同步规划、同步建设，或预留相应位置和管道，满足配电自动化中、长期建设和业务发展需求。

（1）以安全可靠、经济高效为基本原则，充分利用现有成熟通信资源，差异化建设配电通信网。“三遥”终端以光纤通信为主，“二遥”终端以无线公网通信为主。

（2）利用现有骨干通信网，构建适合全省配电自动化运行发展的网络通道，并逐步建设配电网自动化通信专用网络。专用通信网络应优先采用光纤通信方式。对于配置有遥控功能的配电自动化区域采用光纤专网通信方式，选用 EPON 等成熟通信技术。

（3）以 66kV 变电站为节点，依托 10kV 骨干网联络，逐步构建配电自动化通信联络通道，不断满足配电自动化对通信网络的需求。

（4）各类供电区域内，配电通信网所采用的光缆应与配电网一次网架同步规划、同步建设，或预留相应位置和管道，满足配电自动化中、长期建设和业务发展需求。

6. 信息交互规划原则

配电自动化系统需要与调度自动化系统等系统交互图模等数据，主要技术原则如下。

（1）配电自动化系统的各类信息应根据实时性及网络安全性要求合理分层，建立满足 IEC 61970/61968 CIM 标准的信息交互总线，使其他应用系统能够方便规范地使用集成在总线上的数据，达到各系统间的有效集成与整合、互联。

（2）通过信息交互总线架构方式，依据“源端数据唯一、全局信息共享”原则，与营销管理系统、95598 系统、PMS、用电信息采集系统、调度自动化系统等实现信息交互与服务共享。

（3）信息交换总线应为每一个接入系统提供注册服务，并在通信服务器上安装应用系统适配器，以完成对应用系统的数据按 IEC 61968 模型组织、提取并上送总线。

（4）信息系统总线要求具备数据采集功能、接入系统管理、支持数据集成模式、事件通知服务、数据同步管理等功能，并具备数据访问安全机制，确保系统运行安全可靠。

（5）信息交换总线跨越安全区 Ⅰ 和安全区Ⅲ，应使两个安全区内的配置完全对等。安全区 Ⅰ 与安全区Ⅲ之间设置正向与反向专用物理隔离装置。

（6）信息交换总线应支持基于消息的业务编排、信息交互拓扑可视化等应用，满足各专业系统与总线之间的即插即用。

（7）应根据主站规模和相关信息系统的接口数量，合理配置信息交换总线的相关

软硬件。

7. 信息安全防护原则

配电自动化系统主要参照国家和行业等级保护的相关要求，主要遵循以下技术原则。

（1）根据“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”原则，进行配电运行监控应用与配电运行状态管控应用的安全防护建设。

（2）配电运行监控应用部署在生产控制大区，配电运行状态管控应用部署在管理信息大区信息内网，配电运行监控应用应遵循国家发改委 [2014]14 号令相关规定；配电运行状态管控应用应遵循 Q/GDW1594 中三级系统安全防护要求。

（3）接入生产控制大区的配电终端通过内嵌一颗安全芯片，实现通信链路保护、身份认证、业务数据加密。接入管理信息大区的二遥配电终端，内嵌支持国产商用密码算法的安全加密芯片。

7.3.4 配电网物联系统用户接入设计应用

用户是电能的最终消费者，是电力系统不可或缺的一部分。对电力用户及其用电要求的管理，直接影响着电力系统的安全状态和效率水平，因此对电力重要用户的管理对配网安全运营、提高供电可靠性以及减少停电影响等方面具有重要作用。

配电网规划设计中，应充分考虑电力用户的实际情况，确定具体的电力供应的实施计划，形成供电方案。供电方案的主要内容包括供电电源位置、出线方式，供电线路敷设，供电回路数、走径、跨越、客户进线方式、客户受（送）电装置容量、主接线、继电保护方式、电能计量方式、运行方式、调度通信等。

电力用户接入配电网后，应能满足用户对供用电安全、可靠、经济、运行灵活、管理方便的要求，并留有发展余地。同时，要兼顾电网建设、改造和发展规划的要求，适用客户近期、远期对电力的需求发展，选择具有最佳综合经济效益、供电可靠性及合格的电能质量的供电方案。

用户接入需要根据客户的用电容量、用电性质、用电时间，以及用电负荷的重要程度，首先确定高压供电、低压供电、临时供电等供电方式。对于有特殊要求的用电负荷，需要结合用户的重要程度确定多电源供电方式，提出保安电源、自备应急电源、非电性质的应急措施的配置要求。当用户配置自备应急电源、非电性质的应急措施、谐波治理措施时，应考虑与供用电工程同步设计、同步建设、同步投运、同步管理。

1. 电力用户分类

电力用户可以按两种方式进行分类。按照对供电可靠性的要求分类，可以分为重要用户和普通用户；按照对电能质量影响分类，可分为特殊用户和普通用户。特殊用户包括部分重要用户。

1）重要用户

重要用户指在国家或地区（城市）的社会、政治、经济生活中占有重要地位，对其中断供电将可能造成人身伤亡、较大环境污染、较大政治影响、较大经济损失、社会公共秩序严重混乱的用电单位或对供电可靠性有特殊要求的用电场所。具有一级负荷兼或二级负荷的电力用户统称为重要电力用户。重要电力用户认定一般由各级供电企业或电力用户提出，经当地政府有关部门批准。

根据管理需要，可依据负荷分级对重要用户进行细化分类或分级。根据供电可靠性的要求以及中断供电危害程度，重要用户可进一步细化分类为特级、一级、二级重要用户和临时性重要用户。下面介绍电力用户的具体分级标准。

特级重要用户，指在管理国家事务中具有特别重要的作用，中断供电将可能危害国家安全的电力用户。

一级重要用户，指在国家某方面事务或首都事务中具有重要作用或有重要影响，供电中断将直接引发重大政治影响、较大范围社会公共秩序严重混乱、人身伤亡、严重环境污染、重大经济损失的电力用户。

二级重要用户，指在城市某方面事务或区县事务中具有重要作用或有重要影响，供电中断将直接引发较大政治影响、一定范围内社会公共秩序严重混乱、较大环境污染、较大经济损失的电力用户。

临时性重要用户，指需要临时特殊供电保障的用户。

2）特殊用户

具有冲击负荷、波动负荷和不对称负荷的用户为特殊用户，包括畸变负荷用户、冲击负荷用户、波动负荷用户、不对称负荷用户、电压敏感负荷用户和高层建筑用户等。具体分类如表 7-2 所示。

表 7-2　特殊电力用户分类

特殊用户分类	负 荷 类 型
畸变负荷用户	各种硅整流器、变频调速装置、电弧炉、电气化铁道、空调等设备
冲击负荷用户波动负荷用户	短路试验负荷、电气化铁道、电弧炉、电焊机、轧钢机等
不对称负荷用户	电弧炉、电气机车以及单相负荷等
电压敏感负荷用户	IT 行业、使用微电子技术控制的生产线
高层建筑用户	高层建筑

3）普通用户

普通用户指除以上电力用户外的其他电力用户。

2. 重要用户接入要求

1）供电方式

重要电力用户供电电源应具备足够的供电能力，能提供合格的电能质量，以满足用

户的用电需求；在选择电源点时应依据用户的负荷等级、用电性质、用电容量、当地供电条件等因素进行技术经济比较，确保电网和用户变电站的安全运行。

（1）一级重要用户具备两路电源供电条件，两路电源应当来自两个不同的变电站。当一路电源发生故障时，另一路电源能保证独立正常供电。

（2）二级重要用户具备双回路供电条件，供电电源可以来自同一个变电站的不同母线段。

（3）临时性重要用户按照供电负荷重要性，在条件允许情况下，可以通过临时架线等方式具备双回路或两路以上电源供电条件。

（4）重要用户供电电源的切换时间和切换方式要满足重要电力用户允许中断供电时间的要求。

（5）重要用户必须配置自备应急电源，并加强安全使用管理。

（6）重要用户一般采用双（多）路电源供电、高压联络。

2）自备应急电源配置技术要求

（1）一般原则。

①自备应急电源配置容量标准必须达到保安负荷的 120%。

②启动时间满足安全要求。

③用户的自备应急电源与电网电源之间应装设可靠的电气或机械闭锁装置，防止倒送电。

（2）自备应急电源种类及选择。

下面介绍自备应急电源的种类。

① 独立于正常电源的发电机组。

② 供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路。

③ UPS 不间断供应电源（或其他新型电源）。

④ 蓄电池。

⑤ 干电池。

⑥ 其他新型自备应急电源技术（设备）。

自备应急电源的选择如表 7-3 所示。

表 7-3　自备应急电源选择

允许中断供电时间 h	自备应急电源
$h > 15\mathrm{s}$	快速自启动的发电机组
自投装置的动作时间$\leqslant h$	带有自动投入装置的独立于正常电源的专用馈电线路
h 为毫秒级	蓄电池静止型不间断供电装置 蓄电池机械储能电机型不间断供电装置 柴油机不间断供电装置

应急电源工作的时间应按用户生产技术要求的停车时间考虑。当与自动启动的发电

机组配合使用时，不宜少于 10min。

3. 特殊电力用户接入要求

为了防止对电力设备及装置的有害影响以及对用户造成严重危害，对特殊用户的供电方式应从供用电的安全、经济出发，考虑用户的用电性质、容量，根据电网当前的供电条件以及各个时期的规划方案，经技术经济比较后确定。

1）畸变负荷用户

各类工矿企业和运输以及家用电器等用电的非线性负荷，如各种硅整流器、变频调速装置、电弧炉、电气化铁道、空调等设备，引起电网电压及电流的畸变，通称谐波源。谐波会造成大量的危害（如电机发热、振动、损耗增大、继电保护误动、电容器烧坏、仪表不准、通信干扰等）。用户注入电网的谐波电流，必须符合电网接入国家相关标准要求，否则应采取措施，如加装无源或有源滤波器、静止无功补偿装置、电力电容器加装串联电抗器等以保证电网和设备的安全、经济运行。

2）冲击负荷、波动负荷用户

冲击负荷及波动负荷（如短路试验负荷、电气化铁道、电弧炉、电焊机、轧钢机等）引起电网电压波动、闪变，使电能质量严重恶化，危及电机等电力设备的正常运行，引起灯光闪烁，影响生产和生活。这类负荷应经过治理后符合电能质量的相关要求，方可接入。

为限制冲击、波动等负荷对电网产生电压波动和闪变，除要求用户采取就地装置静止无功补偿设备和改善其运行工况等措施外，供电企业可根据项目接入系统研究报告和电网实际情况制定可靠的供电方案，必要时可采用提高接入系统电压等级、增加供电电源的短路容量、以及减少线路阻抗等措施。

3）不对称负荷用户

不对称负荷（如电弧炉、电气机车以及单相负荷等）将引起负序电流（零序电流），从而导致三相电压不平衡，会造成许多危害（如使电机发热、振动，继电保护误动，低压中性线过载等）。电网中的电压不平衡度通常以负序电压与正序电压之比的百分数来衡量。电网中电压不平衡度必须符合电能质量要求，否则应采取平衡化的技术措施（如调整三相负荷）。

380/220V 用户，在 30A 以下的单相负荷，可以单相供电，超过 30A 的一般应采用三相供电。

中压用户若采用单相供电，应力求将多台单相负荷设备平衡分布在三相线路上。

10kV 及以上的（如电气机车）或虽是三相负荷而有可能不对称运行（如电渣重熔炉等）的大型设备，若三相用电不平衡电流超过供电设备额定电流的 10%，应该核算电压不平衡度。

4）电压敏感负荷用户

一些特殊用户，如 IT 行业、微电子技术控制的生产线，电压暂降、波动和谐波等

将造成连续生产中断和严重损失或显著影响产品质量。一般应根据负荷性质，由用户自行装设电能质量补偿装置，如动态电压恢复器（DVR）、快速固态切换开关以及有源滤波器（APF）等。

5）高层建筑用户

10 层及以上的非住宅建筑、18 层建筑及 19 层以上的住宅建筑、高度超过 24m 的其他民用建筑除正常供电电源外，还应供给备用电源。

19 层及以上的办公楼、高级宾馆或高度超过 50m 的科研楼、图书馆、档案馆和大型公共场馆等建筑，由于其功能复杂，停电后或发生火灾后损失严重，除提供正常电源与备用电源外，用户应自备应急保安电源。

高层建筑应根据供电方式预留变、配电所和电度表的适当位置，配电室根据负荷大小，可以集中布置，也可以分散布置，还可以在建筑物内分在几层，分别在负荷中心布置。

设置在高层建筑物内的配电室必须采用干式变压器和无油断路器的配电装置。

贴附在高层建筑外侧的配电室应采用无油断路器和干式变压器，如采用充油变压器时必须设置在专用房间内。高层建筑物的配电室、变压器室、低压配电室等，必须有火灾报警装置和自动灭火装置。

4. 电动汽车充换电设施接入要求

1）供电方式

交流充电桩采用低压单相 220V 供电方式，充电站供电方式根据充电站规模分类。

（1）大型充电站。采用双路电源的高压供电方式。

（2）中型充电站。一般采用双路电源的供电方式。

（3）小型充电站。一般采用低压供电方式。

2）供电系统配置原则

（1）交流充电桩。交流充电桩采用单路单相 220V 电缆（沟体埋设）供电。

（2）大型充电站。大型充电站原则上采用两路 10kV 电缆（沟体埋设）供电，配置两台专用配电变压器。

（3）中型充电站。中型充电站应采用两路电源供电。主要电源可采用 10kV 电缆（沟体埋设）供电，也可采用 0.4kV 低压电缆（沟体埋设）供电；备用电源采用 0.4kV 低压电缆（沟体埋设）供电。

主供电源采用 10kV 高压供电方式：电源采用 10kV 单路常供。主供电源采用 0.4kV 供电方式：采用双路进线（一主一备），备用电源和主供电源之间采用可靠连锁。

（4）小型充电站。小型充电站采用单路 0.4kV 电缆（沟体埋设）供电，采用户外电箱。

3）谐波治理

电动汽车充电站属于谐波源负荷，会产生谐波电流并注入公用电网，影响电网电能质量水平。因此需要采取措施抑制其谐波电流注入，以确保电能质量和电力系统的安全、经

济运行。

（1）谐波考核标准。谐波监测点为充电设施接入点，考核标准依据《电能质量公用电网谐波》（GB/T 14549—1993）及《电磁兼容限值对额定电流大于16A的设备在低压供电系统中产生的谐波电流的限制》（GB/Z 17625.6—2003）等规定。

（2）谐波治理原则。谐波治理工程按照“同时设计、同时施工、同时验收、同时投运”的原则进行。

① 对于大、中型充电站，应采用有源滤波技术在低压母线集中补偿，有源滤波器补偿容量按不小于充电机总功率的20%配置。

② 小型充电站和交流充电桩结合现场监测实际综合治理。

第 8 章

电网 GIS 物联网工程技术与应用

电网 GIS 物联网工程技术基本概念、北斗卫星导航系统与地理信息系统、电网 GIS 输配电物联网系统一体化、电网 GIS 物联网信息安全架构设计方法、电网 GIS 与配电自动化系统集成设计方法、辽宁电网 GIS 空间信息服务平台建设案例是本章重点介绍的主要内容。

8.1　电网 GIS 物联网工程技术基本原理

电网 GIS 物联网工程技术基本概念、北斗卫星导航系统与地理信息系统、空间位置信息采录与数据采集整理、基于电网 GIS 物联网配电专业应用方法是本节介绍的主要内容。

8.1.1　电网 GIS 物联网工程技术基本概念

1. 电网 GIS 的定义

电网 GIS 是将电力企业的电力设备、变电站、输配电网络、电力用户、电力负荷、生产及管理等核心业务连接形成电力信息化的生产管理的综合信息系统。它提供的电网设备设施信息、电网运行状态信息、电网技术信息、生产管理信息、电力市场信息与山川、河流、地势、城镇、公路街道、楼群，以及气象、水文、地质、资源等自然环境信息集中于统一的系统中。通过 GIS 可查询有关数据、图片、图像、地图、技术资料和管理知识等。

2. 电网 GIS 的特点

1）开放性

具有开放式环境、很强的可扩充性和可连接性。GIS 技术支持多种数据库管理系统，如 Oracle、Sybase、SQL Server 等大型数据库；运行多种编程语言和开发工具；支持各类操作系统平台；为各应用系统，如 SCADA、EMS、CRM、ERP、MIS、OA 等提供标准化接口；可嵌入非专用编程环境。

2）先进性

GIS 平台采用与世界同步的计算机图形技术、数据库技术、网络技术以及地理信息处理技术。系统设计采用目前最新技术，支持远程数据和图纸查询，利用系统提供的强大图表输出功能，可以直接打印地图、统计报表、各类数据等，可分层控制图纸、无级缩放、支持漫游、直接选择定位等。系统具备完善的测量工具，现场勘查数据、线路杆

塔等设备的初步设计，并可直接进行线路设备迁移与相关计算等，实现线路辅助设计与设备档案修改。系统具有线路的方位或区域分析判断功能，为用户提供可靠的辅助决策，综合统计分析，为管理决策人员提供依据，特别是把可视化技术和移动办公技术纳入GIS 系统的总体设计范围。地图精度高，省级地图的比例尺达到 1 ： 10000 或 1 ： 5000，市级地图比例尺达到 1 ： 1000 或 1 ： 500，地图能分层显示山川、水系、道路、建筑物、行政区域等。

3）发展性

具有很强的可扩充性和可连接性。在应用开发过程中，考虑系统成功后进一步发展，包括维护性扩展功能和与其他应用系统的衔接与整合的方便。开发工具一般采用J2EE、XML 等。

4）电网 GIS 的更多特点

（1）电力系统运行参数实时性及信息的动态变化性要求对瞬间信息进行及时收集、处理和分析。电网 GIS 对数据处理、存储容量和传输速度均有较高的要求。

（2）电网的多属性数据要求 GIS 具备足够的稳定性和可靠性。根据电力行业技术标准及电网企业业务需求，系统具有良好的可维护性。电网 GIS 能够实现数据的一次输入和多次输出，以保证数据的一致性操作，实现数据的统一管理和多层保护等，构建高可靠性和高准确性的业务系统。

（3）电力系统是一个庞大复杂的系统，这决定了电力网的广域性、电力设施的分散性及设备的多样性，而且实时信息量大，系统接口复杂，信息的覆盖面广，电网的各种电压等级及多用户连接等需要 GIS 具备拓扑分析和转换能力。

（4）电网 GIS 的单机工作站方式已经落后，且不适合电力企业信息系统实际需要。电力行业目前应用的 GIS 平台安装在局域网环境下，在网络的应用和开发上整合信息，实现资源共享。

（5）电网 GIS 具备安全保护的特点，电网设备的高精确度测量的经纬度坐标数据是国家基础信息资源，是国家安全的信息。

3. 电网 GIS 主要功能

面向对象的数据建模，具有建模规则库、电网图的编辑及输出工具。电网 GIS 平台包括基本构件层、系统环境层、数据库连接层、图形与数据接口工具层、应用系统层等，分层建立各种数据模型，并建立各层的连接关系

8.1.2 “北斗”卫星导航系统与地理信息系统

1. “北斗”卫星导航系统

“北斗”卫星导航系统（BeiDou Navigation Satellite System，BDS）是中国自行研

制的全球卫星导航系统，是继美国全球定位系统（GPS）、俄罗斯格洛纳斯卫星导航系统（GLONASS）、欧盟之后第四个成熟的卫星导航系统。“北斗”卫星导航系统（BDS）和美国 GPS、俄罗斯 GLONASS、欧盟 GALILEO，是联合国卫星导航委员会已认定的供应商。

“北斗”卫星导航系统由空面段、地面段和用户段三部分组成，可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务，并具短报文通信能力，已经具备区域导航、定位和授时能力。

1）建设原则

“北斗”卫星导航系统的建设与发展，以应用推广和产业发展为根本目标，不仅要建成系统，更要用好系统，强调质量、安全、应用、效益，遵循以下建设原则。

（1）开放性。“北斗”卫星导航系统的建设、发展和应用将对全世界开放，为全球用户提供高质量的免费服务，积极与世界各国开展广泛而深入的交流与合作，促进各卫星导航系统间的兼容与互操作，推动卫星导航技术与产业的发展。

（2）自主性。中国将自主建设和运行“北斗”卫星导航系统，“北斗”卫星导航系统可独立为全球用户提供服务。

（3）兼容性。在全球卫星导航系统国际委员会（ICG）和国际电联（ITU）框架下，使“北斗”卫星导航系统与世界各卫星导航系统实现兼容与互操作，使所有用户都能享受到卫星导航发展的成果。

（4）渐进性。中国将积极稳妥地推进“北斗”卫星导航系统的建设与发展，不断完善服务质量，并实现各阶段的无缝衔接。

2）空间定位原理

在空间中若已经确定 A、B、C 三点的空间位置，且第四点 D 到上述三点的距离皆已知的情况下，即可以确定 D 的空间位置，原理如下：因为 A 点位置和 AD 间距离已知，可以推算出 D 点一定位于以 A 为圆心、AD 为半径的圆球表面，按照此方法又可以得到以 B、C 为圆心的另两个圆球，即 D 点一定在这三个圆球的交汇点上，即三球交汇定位。“北斗”的试验系统和正式系统的定位都依靠此原理。

3）有源与无源定位

当卫星导航系统使用有源时间测距来定位时，用户终端通过导航卫星向地面控制中心发出一个申请定位的信号，之后地面控制中心发出测距信号，根据信号传输的时间得到用户与两颗卫星的距离。除了这些信息外，地面控制中心还有一个数据库，为地球表面各点至地球球心的距离，当认定用户也在此不均匀球面的表面时，三球交汇定位的条件已经全部满足，控制中心可以计算出用户的位置，并将信息发送到用户的终端。“北斗”的试验系统完全基于此技术，而之后的“北斗”卫星导航系统除了使用新的技术外，也保留了这项技术。

当卫星导航系统使用无源时间测距技术时，用户接收至少 4 颗导航卫星发出的信号，根据时间信息可获得距离信息，根据三球交汇的原理，用户终端自行可以自行计算其空

间位置。此即为 GPS 所使用的技术，“北斗”卫星导航系统也使用了此技术来实现全球的卫星定位。

4）精度

参照三球交汇定位的原理，根据 3 颗卫星到用户终端的距离信息，根据三维的距离公式，就依靠列出 3 个方程得到用户终端的位置信息，即理论上使用 3 颗卫星就可达成无源定位。但由于卫星时钟和用户终端使用的时钟间一般会有误差，而电磁波以光速传播，微小的时间误差将会使得距离信息出现巨大失真，实际上应当认为时钟差距不是 0 而是一个未知数 t。如此方程中就有 4 个未知数，即客户端的三维坐标（X，Y，Z），以及时钟差距 t，故需要 4 颗卫星来列出 4 个关于距离的方程式，最后才能求得答案，即用户端所在的三维位置，根据此三维位置可以进一步换算为经纬度和海拔高度。

若空中有足够的卫星，用户终端可以接收多于 4 颗卫星的信息时，可以将卫星每组 4 颗分为多个组，列出多组方程，后通过一定的算法挑选误差最小的那组结果，能够提高精度。

电磁波以 30×10^4km/s 的光速传播，在测量卫星距离时，若卫星钟有 1ns（十亿分之一秒）时间误差，会产生 30cm 距离误差。尽管卫星采用的是非常精确的原子钟，也会累积较大误差，因此地面工作站会监视卫星时钟，并将结果与地面上更大规模的更精确的原子钟比较，得到误差的修正信息，最终用户通过接收机可以得到经过修正后的更精确的信息。当前有代表性的卫星用原子钟大约有数纳秒的累积误差，产生大约 1m 的距离误差。

为提高定位精度，还可使用差分技术。在地面上建立基准站，将其已知的精确坐标与通过导航系统给出的坐标相比较，可以得出修正数，对外发布，用户终端依靠此修正数，可以将自己的导航系统计算结果进行再次修正，从而提高精度。例如，全球定位系统使用差分全球定位系统后，定位精度可达到 5m 左右。

5）系统构成

“北斗”卫星导航系统由空间段、地面段、用户段组成。

（1）空间段。

“北斗”卫星导航系统空间段由 35 颗卫星组成，包括 5 颗静止轨道卫星、27 颗中地球轨道卫星、3 颗倾斜同步轨道卫星。5 颗静止轨道卫星定点位置为东经 58.75°、80°、110.5°、140°、160°，中地球轨道卫星运行在 3 个轨道面上，轨道面之间相隔 120° 均匀分布。2012 年，系统具备覆盖亚太地区的定位、导航和授时以及短报文通信服务能力。2018 年 12 月 27 日，“北斗”卫星导航系统开始提供全球服务。

（2）地面段。

“北斗”卫星系统的地面段由主控站、注入站、监测站组成。

主控站用于系统运行管理与控制等。主控站从监测站接收数据并进行处理，生成卫星导航电文和差分完好性信息，而后交由注入站执行信息的发送。

注入站用于向卫星发送信号，对卫星进行控制管理，在接受主控站的调度后，将卫

星导航电文和差分完好性信息向卫星发送。

监测站用于接收卫星的信号，并发送给主控站，可实现对卫星的监测，以确定卫星轨道，并为时间同步提供观测资料。

（3）用户段。

用户段即用户的终端，既可以是专用于“北斗”卫星导航系统的信号接收机，也可以是同时兼容其他卫星导航系统的接收机。接收机需要捕获并跟踪卫星的信号，根据数据按一定的方式进行定位计算，最终得到用户的经纬度、高度、速度、时间等信息。

6）系统主要性能

（1）短报文通信。“北斗”系统用户终端具有双向报文通信功能，用户可以一次传送 40 ～ 60 个汉字的短报文信息，可以达到一次传送达 120 个汉字的信息。这在远洋航行中有重要的应用价值。

（2）精密授时。“北斗”系统具有精密授时功能，可向用户提供 20 ～ 100ns 时间同步精度。

（3）定位精度。水平精度 100 米（1σ），设立标校站之后为 20m（类似差分状态）。工作频率为 2491.75MHz。

（4）系统容纳的最大用户数为 540000 户 /h。

2. 地理信息系统

1）地理信息系统（GIS）基本概念

地理信息系统（Geographic Information System，GIS）是一门综合性学科，结合地理学与地图学以及遥感和计算机科学，已经广泛应用在不同的领域，是用于输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统。随着 GIS 的发展，也有称 GIS 为地理信息科学（Geographic Information Science）的情况，近年来，也有称 GIS 为地理信息服务（Geographic Information Service）的情况。GIS 是一种基于计算机的工具，它可以对空间信息进行分析和处理，简而言之，是对地球上存在的现象和发生的事件进行成图和分析。GIS 技术把地图这种独特的视觉化效果和地理分析功能与一般的数据库操作（如查询和统计分析等）集成在一起。GIS 与其他信息系统最大的区别是对空间信息的存储管理分析，从而使其在广泛的公众、个人、企事业单位中解释事件、预测结果、规划战略等方面具有实用价值。

GIS 属于信息系统的一类，不同在于它能运作和处理地理参照数据。地理参照数据描述地球表面（包括大气层和较浅的地表下空间）空间要素的位置和属性。GIS 中有两种地理数据成分：空间数据，与空间要素几何特性有关；属性数据，提供空间要素的信息。

GIS 是一种具有信息系统空间专业形式的数据管理系统。在严格的意义上，这是一个具有集中、存储、操作和显示地理参考信息的计算机系统。例如，根据在数据库中的位置对数据进行识别。

GIS 技术能够应用于科学调查、资源管理、财产管理、发展规划、绘图和路线规划。

例如，GIS 能使应急计划者在自然灾害的情况下较易计算出应急反应时间，或利用 GIS 系统来发现那些需要保护不受污染的湿地。

GIS 的研究应用有两种情况：一是利用 GIS 系统处理用户的数据；二是在 GIS 的基础上，利用它的开发函数库二次开发用户专用的 GIS 软件，主要应用包括资源管理、自动制图、设施管理、城市和区域规划、人口和商业管理、交通运输、石油和天然气、教育、军事等九大类别的一百多个领域。在美国及发达国家，GIS 的应用遍及环境保护、灾害预测、城市规划建设、政府管理等众多领域。近年来，随着我国经济建设的迅速发展，加速了 GIS 应用的进程，在城市规划管理、交通运输、测绘、环保、农业等领域发挥了重要的作用，取得了良好的经济效益和社会效益。

2）GIS 未来发展趋势

（1）多比例尺、多尺度和多维空间数据的表达。

对于多比例尺数据的显示，将运用影像金字塔技术、细节分层技术和地图综合等技术。实现 GIS 的动态、实时和三维可视化，出现存储真三维坐标数据的 3D GIS 和真四维时空 GIS，涉及空间数据的海量存储、时空数据处理与分析以及快速广域三维计算与显示等多项理论与技术。

（2）三库一体化的数据结构方向。

空间数据库向着真正面向对象的数据模型和图形矢量库、影像栅格库和 DEM 格网库三库一体化数据结构的方向发展。这种三库一体化的数据结构改变了以图层为处理基础的组织方式，实现了直接面向空间实体的数据组织，使多源空间数据的录入与融合成为了可能，从而为 GIS 与遥感技术的集成创造了条件。

（3）基于空间数据仓库（Spatial Data Warehouse）的海量空间数据管理的研究。

空间数据量非常大，而且数据大都分散在政府、私人机构、公司的各个部门，数据的管理与使用就变得非常复杂。但这些空间数据又具有极大的科学价值和经济价值，因此大多数发达国家都比较重视空间数据仓库的建立工作，许多研究机构和政府部门都参与到空间数据仓库建立的研究工作。

（4）利用数据挖掘技术进行知识发现。

空间数据挖掘是从空间数据库中抽取隐含的知识、空间关系以及其他非显式的包含在空间数据库中但以别的模式存在的信息供用户使用，这是 GIS 应用的较高层次。由于目前空间数据的组织与管理仍局限于二维、静态、单时相，且仍以图层为处理基础，因此当前的 GIS 软件和空间数据库还不能有效地支持数据挖掘。

（5）GIS 与虚拟现实技术的结合。

虚拟现实（Virtual Reality）是一种最有效地模拟人在自然环境中视、听、动等行为的高级人机交互技术，是当代信息技术高速发展和集成的产物。从本质上说，虚拟现实就是一种先进的计算机用户接口，通过计算机建立一种仿真数字环境，将数据转换成图形、声音和接触感受，利用多种传感设备使用户“投入”到该环境中，用户可以如同在真实世界那样“处理”计算机系统所产生的虚拟物体。将虚拟和重建逼真的、可操作的

地理三维实体，GIS 用户在客观世界的虚拟环境中能更有效地管理、分析空间实体数据。因此，开发虚拟 GIS 已成为 GIS 发展的一大趋势。

（6）分布式技术、万维网与 GIS 的结合。

目前，随着 Internet 技术的迅猛发展，其应用已经深入到各行各业。与我们日常生活息息相关的 GIS 也不例外，它们的结合产生了 Web GIS。当前 Web GIS 系统已经得到迅速的发展，仅在美国出现的这类系统就有 23 种之多。又由于客户端可能会采用新的应用协议，因此 Web GIS 也被认为是 Internet GIS。

计算机网络技术的飞速发展，分布式计算的优势日益凸显，GIS 与分布式技术结合也就成为必然，它们的结合构成了分布式 CIS。它指利用最先进的分布式计算技术来处理分布在网络上的异构多源的地理信息，集成网络上不同平台上的空间服务，构建一个物理上分布、逻辑上统一的 GIS。它与传统 GIS 最大的区别在于，它不是按照系统的应用类别、运行环境划分的，而是按照系统中的数据分布特征和针对其中数据处理的计算特征而分类的。

（7）移动通信技术与 GIS 的结合发展。

WAP/WML 技术作为无线互联网领域的一个热点，已经显示了其巨大的应用前景和市场价值。WAP/WML 技术与 GIS 技术的结合产生了移动 GIS（Mobile GIS）应用和无线定位服务 LBS（Location-based Services）。通过 WAR/WML 技术，移动用户几乎可以在任何地方、时间获得网络提供的各种服务。无线定位服务将提供一个机会使 GIS 突破其传统行业的角色而进入主流的 IT 领域。GIS 的未来将会由其机动性决定。

当前，用于地理信息交互的语言还不足以完成真正的“设备无关接口”的互操作。各种移动设备对从地理信息服务器所获得的信息的表现方式是各不相同的，用户输入方式也不相同。因此，对于不同的移动设备需要一种统一的标记语言。

（8）GIS 与决策支持系统的集成。

决策支持系统（Decision Support System，DSS）是以管理学、运筹学、控制论、行为科学和人工智能为基础，以信息仿真和计算手段为基础，综合利用现有的各种数据库、信息和模型来辅助决策者或决策分析人员解决结构化和半结构化问题，甚至非结构化问题的人机交互系统。

目前，绝大多数的 GIS 还仅限于图形的分析处理，缺乏对复杂空间问题的决策支持，而绝大多数 DSS 则无法向决策者提供一个友好的可视化的决策环境。因此，将 GIS 与 DSS 集成，最终形成空间决策支持系统（SDSS），借助 GIS 强大的空间数据处理分析功能，并在 DSS 中嵌入空间分析模块，从而辅助决策者求解复杂的空间问题，这是 GIS 应用向较高层次的发展。其中，SDSS 中的知识表达、获取和推理以及模型库、知识库、数据库三库接口的设计是关键问题。

3. GPS/ 北斗与 GIS 的关系

3S 是 GPS/“北斗”（全球定位系统）、RS（遥感）和 GIS 的简称。3S 集成是指

将遥感、空间定位系统和地理信息系统这三种对地观测技术有机地集成在一起。地理信息是一种信息流，RS、GPS 和 GIS 中任何一个系统都只侧重于信息流特征中的一个方面，而不能满足准确、全面地描述地理信息流的要求。因此，无论从物质运动形式、地学信息的本质特征，还是 3S 各自的技术特征来说，3S 集成都是科技发展的必然结果。

目前，3S 集成还仅限于两两结合方式，这是 3S 集成的初级和基础起步阶段，其核心是 GIS 与 RS 的结合。这种两两结合虽然优于单一系统，但是仍然存在缺陷。将 3S 进行集成，从而形成一体化的信息技术体系是非常迫切的。这种集成包括空基 3S 集成和地基 3S 集成，即在硬件方面建立具有同步获取涉谱数据和空间数据的高重复观测能力的平台，而在软件方面使 GIS 支持数据封装，同时解决图形和图像数据的统一处理问题。

8.1.3 空间位置信息采录与数据采集整理

1. 空间位置采录方法

1）GPS 测量法

GPS 单点定位精度可达到 5 ～ 10m，不过现在实时动态载波相位差分 GPS 测量 -RTK 已经得到了广泛应用，精度可达到厘米级或更高。各省市在建设电网 GIS 空间信息服务平台进行数据采集时都建设了 CORS 基准站。

在 GPS 信号没有覆盖的地方，可以采用 GPS 做控制网，利用全站仪引点测量的方式进行测量。另外，可结合 RTK 临时基站实时差分测量或全站仪引点测量，以达到较好的测量精度，但 RTK 临时基站和全站仪测量对测量人员的专业性要求较高。

2）移动测量法

目前，移动测量技术在测绘领域得到了较快的发展和实际应用。无人机、采集车等测量设备在测绘领域的应用也越来越广泛。由于移动测量采用交通工具替代人工步行，数据处理采用图形处理系统，其自动化、图形化以及安全性和效率都较传统人工采集有较大提高。移动测量方式可作为一种有效选择。

3）直接标绘法

地图标绘方法是传统的测量方式之一。作业人员利用比例尺不大于 1 ∶ 2000 的电子地图或者经过正射校正精度不小于 0.5m 的航拍图，通过对现场参照物相对位置的实际勘查对比，在地图上标绘测量目标的位置，并获取该位置的坐标信息，最终通过电子地图得到电网资源设备的空间坐标。这种测量模式操作较为方便，是空间数据测量的一种有效补充手段。但其精度受电子地图自身精度、作业人员空间识别能力以及操作方式影响，并且高精度的电子地图和航拍图不易获取。

2. 数据整理方法

数据整理的主要工作是将现场获取的数据录入到目标模板中，同时将从业务系统中

导出的其他属性填写到表格中；对相应设备照片进行重命名及编辑。

1）模板数据整理方法

属性数据整理的常见方法有 Excel 表格手工整理和软件辅助整理。

（1）Excel 表格手工整理。

手工录入采集的记录，通过 Excel 软件的公式，关联采集设备和已有台账设备，完成采集坐标测量平差、坐标计算和采集模板的属性填写、数据汇总、差异比较等，人工完成模板数据的整理。

（2）软件辅助整理。

通过满足成果数据要求的采集软件、属性整理软件、差异自动生成软件可辅助完成模板数据整理，自动化或半自动化完成成果数据生成与导出。

2）照片数据整理方法

对获取的设备照片通过工具软件进行批量重命名、编辑，并检查照片的缺失、错漏情况，补充完整可形成成果照片。

3）数据成果差异分析

数据作业单位以线路或台区为单位提交数据，在采集过程中对已完成的部分成果进行提交。实施厂商接收采集成果，负责对工作成果和相关业务系统进行比对和分析，给出差异数据表，提交到地市业务部门进行审核和确认。

实施厂商对差异数据有疑问的，可同作业单位进行沟通确认，双方无法确认的，提交到地市业务部门确认。

4）数据成果导入

实施厂商将运检采录数据更新到 PMS2.0、电网 GIS 平台、营配贯通工具，将营销采录数据更新到营销业务应用系统、电网 GIS 平台。数据质量保证措施主要包括数据质检人员组织、数据质检制度的建立以及数据质量的检查措施等。

5）数据质量内容

数据质量内容主要包括属性精度、位置精度、时间精度、逻辑一致性和完整性。

（1）属性精度，又称专题性精度，主要指属性值与其真值相符的程度，包括属性编码的正确性、属性值的正确性，以及名称的正确性等方面。

（2）位置精度或称定位精度，是指空间数据坐标位置的精度。

（3）时间精度，主要指数据的现势性。它可以通过数据采集时间、数据库更新时间和频率来表现。

（4）逻辑一致性，主要指图数一致性、空间一致性和拓扑一致性。图数一致性是指数据不仅在数据结构、数据格式和属性编码上正确，还必须保证图形数据和属性数据的一致。空间一致性包括面状要素应闭合、节点匹配应正确；要素应具有唯一性，是否有线段自相交、是否有重叠弧段、几何类型和空间关系是否正确等。拓扑一致性是指采集设备与电网资源的空间拓扑关系和电气拓扑关系的正确性。

（5）数据完整性，包括空间完整性和属性完整性。空间完整性主要指具有同一准

确度和精度的数据在类型上和特定空间范围内的完整程度。数据完整性包括空间数据完整性和属性数据完整性两个方面。空间数据完整性主要包括所采集资源数据的几何描述应完整；数据的分层应正确，不得有重复或遗漏；注记应完整、正确。属性完整性主要包括实体完整性、域完整性、参照完整性、用户定义完整性。

8.1.4 基于电网 GIS 物联网配电专业应用方法

基于电网 GIS 空间信息服务平台构建配网专业管理应用，实现电网设备资源可视化、图形化管理，实现配电资源管理、配网专题图管理、配网生产运行管理、配网调度运行管理、系统接口应用。

1. 配网资源管理

配电资产管理包括所有配电基础信息构建的应用模块，主要功能是完成 10kV 配网及 380V 的低压配电网、站内一次模拟图、电站位置分布图、电缆分布图等配电网信息在电网 GIS 平台上的录入、编辑、查询、发布。

1）中压（10kV）电网管理

中压电网分成电缆线路和架空线路两大部分，是配电网的主要组成。配电管理系统的大部分工作也主要针对中压电网，如配电 DMS 管理、大用户负荷监控、配变监测管理等。

（1）中压电网图基于地理背景信息构建。

（2）在绘制中压电网图的同时自动建立电力设备、线路的拓扑连接关系，自动建立电缆和架空线的连接和拓扑关系，构造电网网架拓扑结构，并提供方便友好的工具实现对拓扑关系的人工修改。

（3）建立专门的电缆线路编辑工具，考虑电缆与线路的不同，增加电缆头、电缆分支箱等设备（无电杆），并能方便建立与线路连接和拓扑关系。

（4）提供电力系统的标准图形编辑工具，可修改、增加、删除、替换、移动线路、设备。

（5）提供中压电网设备注记编辑工具，可修改、增加、删除、替换、移动线路、设备的注记。

2）电缆通道管理

中压电网中的电缆线路，在图形上是可见的，但实际上是埋设在地下的电缆通道中的，因此电缆通道作为独立的一层电网信息编辑。电缆通道的编辑，要考虑通道的种类、断面类型、层数和孔数的分布、工井的位置等信息，同时要考虑通道内电缆的数目、分布情况、断面信息、相关属性信息等。

（1）提供电缆通道的标准图形模块，可修改、增加、定义电缆通道的种类、断面类型、层数和孔数的分布、工井的位置等信息。

（2）提供方便的设备属性录入工具，可直观方便地录入通道内电缆的属性信息。

3）设备台账管理与维护

可单个或批量录入和编辑修改所有设备（包括高、中、低压杆塔，开关、配变、线路、电缆、电站内母线、变压器等设备）的档案数据。所有设备可存储多媒体属性数据，如影像、照片、施工图纸、文档等信息。

（1）提供附属设备台账录入工具，可方便地录入高压、中压、低压的附属设备（如杆塔附件、避雷器、设备熔丝等）的属性信息，支持数据的复制、粘贴，并可根据选择的图形范围对数据进行批量录入。

（2）提供电网设备与附属设备对应关系建立工具，可方便地定义每个设备所带的附属设备，自动建立电网设备与附属设备的对应关系，在维护电网设备的同时维护该设备的附属设备信息。

（3）提供相关设备测量及试验数据维护工具，可方便地录入设备地预试、测量等记录。

4）备品备件管理

备品备件管理主要包括备品备件的台账管理、定额标准管理、领用登记管理和试验管理；提供备品备件的台账的录入和编辑，并维护台账的详细信息，对于专用备品，需要表明其备品的主设备；提供备品备件定额标准管理、入库管理、领用管理和备品备件试验管理。

5）工器具管理

主要实现对公用工器具的入库、领用、归还、报废的全过程管理。工器具管理主要是对安全工器具、试验工器具、检修工器具等生产中使用的工器具进行管理。管理内容主要包括工器具类型维护、工器具的领用归还记录、工器具的录入、查询和统计等。

2. 配网专题图管理

1）单线图

实现单线图生成与更新管理。单线图是以单条馈线为单位的包括运行线路及其重要电力设备信息（如变压器、开关、分支线线路等）的具有示意地理方位概念的专题图。单线图是运行单位重要的运行手段和工具，各专业管理人员、作业人员通过单线图获取某条线路的相关信息。

单线图管理功能包括单线图生成、布局优化、单线图更新、单线图保存、单线图查询。

2）电源站室图

电源站室图是以一个或多个联络的开关站为单位的，包含重要电力设备信息（如线路、变压器、开关、环网站等）的示意图。

电源站室图管理功能包括电源站室图生成、开关站布局优化、电源站室图更新、电源站室图保存、电源站室图查询。

（1）提供不同类型的电站接线图模板，直接导入变配电站接线图，减轻图形输入

的工作量。

（2）提供方便的建模编辑工具，建立并方便修改编辑变电站、配电站接线图。提供标准的变配电设备图形符号库，自动建立站内设备电气连接关系、站内设备与配网设备的电气连接关系。

（3）提供方便的电站模拟图图形编辑工具，能够方便地将变电线路、电站进线、电站出线、母线以及站内开关、流变、避雷器、站内刀闸等设备图形绘制出来，并自动建立电网的连接关系、电站出线与中压电网的连接和拓扑关系、站内设备的定位方式等因素。

（4）提供变配电站设备注记编辑工具，可修改、增加、删除、替换、移动线路、设备的注记。

（5）提供站址分布图编辑工具，对不同类型站所（如变电站、配电站、开闭所、箱变、配电房）的地理分布位置进行增加、删除、移动等编辑。

3）配网系统图

配网系统图是指供电区域内反映配网所有电气联络关系且不含地理走向的拓扑图形，表示线路的连接关系，主要应用于配网的运行及调度、供电方案的规划。

4）低压台区图管理

低压电网包括低压电缆线路、低压架空线路、低压接户线以及低压用户接户点等组成部分。

（1）在绘制低压电网图的同时自动建立电力设备、线路的拓扑连接关系，自动建立中压设备与低压线路的拓扑连接关系，并提供方便友好的工具实现对拓扑关系的人工修改。

（2）通过低压用户接户点，建立低压线路与用户的关系。

（3）低压电网设备注记编辑工具，可修改、增加、删除、替换、移动线路、设备的注记。

（4）低压台区图（CAD 图形）装载。

（5）提供低压三相不平衡率统计工具。

5）条图

条图是掌握 10kV 及以下线路的主要图纸，它把一条线的主要部件与沿线基本情况在图纸上展现出来，对指导运行与故障查找都能起到很大的作用。条图管理功能包括条图生成、布局优化、条更新、条保存、条查询。

3. 配网生产运行管理

配电工作管理是配电 GIS 系统的上层应用。在这个系统中，需要由服务器端提供 GIS 信息、用户信息、实时系统数据等。在配电工作管理中，可以细分为以下各个子模块。

1）配电巡视缺陷、检修记录管理

根据开关、刀闸和熔丝等部件的状态信息，以及配变的供电范围关系，构成配电网络拓扑结构和供电区域。在配电设备检修的方式下，优化供电接线方式，缩小停电

范围并显示对用户的影响范围，自动检索检修区域内是否有特殊用户，以便及时处理。以地图为背景，图上设置状态与资料数据库建立有机的联系，显示设备档案、运行维护资料等。

2）巡视、缺陷记录管理

安排线路巡视计划；巡视周期管理（超周期提醒）；巡视记录管理；设备缺陷记录管理；对施工现场等特殊地段安排特殊巡视，事故巡视；低压（如配电房内部漏电保安器）等巡视记录管理；巡视、消缺闭环；对停电、故障网络提出恢复供电的优化方案。

3）设备检修管理

系统应可根据检修管理指标，自动进行校核，自动列出各项指标的完成情况，提醒工作人员安排设备检修工作，并能提出设备检修计划。

（1）编制检修计划，按供电可靠性指标对设备停电时间和次数进行控制。

（2）对检修项目进行管理。

（3）开列工作票和操作票。

（4）对设备完好率、检修率进行统计。

（5）进行设备检修周期管理。

（6）进行设备大修管理。

（7）进行设备巡视周期管理。

（8）根据缺陷统计、配电设备运行记录和历史资料，进行综合分析，自动生成影响的相关地域范围和设备清单，提出最佳停电方案和工作时间。

（9）自动生成施工图及维修费用概预算。

（10）工作结束后，对相关的设备档案进行更新。

4）配网设备评价和状态检修

通过对基础信息、运行数据、环境影响等信息的收集和综合分析，评价配网设备状态，在可靠性分析及风险评估基础上制定设备运行、检修、改造策略。配网设备评价包括相关信息收集和管理、按标准进行评价。状态检修管理根据设备评价的结果和状态检修的相关导则提出运行检修或改造策略。

5）配电工程辅助设计

结合地理接线图、电网系统图、重要用户供电图及城市管线位置图等信息，利用图纸资料的不同分层，参照配网规划，以多种方式进行配电工程的施工设计，以及设备装置的改造方案设计。

（1）完成用户申请报装接电设计任务工作传票的生成。

（2）进行原有配电网设计图纸、文件等资料的输入；调用地理信息和配电设备信息，采用计算机辅助设计手段进行交互式施工方案设计。

（3）自动完成施工图纸及施工单。

（4）对竣工资料进行校对、存档。

（5）对规划设计进行校验。

4. 基于 GIS 图形的供电可靠性管理

供电可靠性主要包括以下功能。

（1）实现对供电系统用户供电可靠性基础和运行数据的收集、上报、下传；提供数据的录入、修改、删除、新增功能；提供数据的软盘、网络传输功能，可选择（部分、全部）数据。

（2）提供灵活方便的查询功能。指标查询、统计分析、报表输出有多种形式（报表、图形、文件）；提供固定条件和用户自定义条件实现查询、统计、分析、打印等功能；提供可靠性综合指标的上报、汇总统计功能。

（3）按照规程规定的可靠性指标和报表。建立固定的计算和打印模块；建立指标分析算法库实现综合指标分析、比较功能。

可在 GIS 程序中增加以下功能来满足要求。

（1）管理基础数据：根据可靠性规程的要求，为参与统计的设备（如中低压线路段、变压器、用户等）进行可靠性统计编码。

（2）输入用户信息：在系统中建立用户集，并关联 CIS 系统中的具体用户，从而计算出各用户集的户数、容量等。

（3）录入运行数据：录入各种设备的停电信息。

（4）导出数据：导出基础数据或运行数据。

5. 配电网施工计划和工作管理

根据规划、配网运行情况及其他相关因素，制订施工计划，并进行施工管理。

1）配电网的施工计划

（1）年度计划安排。

（2）季度计划安排。

（3）月度计划安排。

（4）每周计划安排。

（5）进行历史计划的查询。

（6）根据实际情况进行计划调整。

2）施工工作管理

（1）应能根据可靠性优先原则确定施工方案。

（2）应能生成停电范围，并对所影响用户进行预告。

（3）应能进行工程预、决算编制，工程预、决算管理，并生成预、概算报告。

（4）应能开列施工图和材料清单，并开列工作票和操作票。

（5）应能进行施工流程管理。

（6）施工结束后，应能自动对相关设备档案进行更新。

（7）应能对完成情况进行统计。

6. 配网调度运行管理

1）配电网络拓扑分析

网络动态着色用不同的颜色反映设备的电气状态、电压等级等信息，主要用来反映设备状态和所发生的实时事件，是分析网络中非实时监控的重要手段。网络的动态着色是自动进行的，当发生了影响网络连通性的事件时（实时或者人工），它使用事先定义的启动点自动修改网络着色。

（1）网络追踪。提供基本的电气网络连通性分析功能，分析过程应考虑网络的方向（电源方向或负荷方向，可以按照给定的方向分析，可以作双向分析。分析结果用高亮色在图中进行表示。

（2）电源追踪。对任意的电气设备可以查找出对其供电的电源，并给出各电压等级的电源设备的详细信息，该设备到电源间的路径用高亮色在图中进行表示。

（3）负荷追踪。从变电站的一出线向负荷方向作分析，查找出该线路上所有的设备和用户点，并列表显示，同时该线路的供电范围用高亮色在图中进行表示。

（4）供电距离。对线路上的一点，计算出变电所出线到该点的电气距离，并列出这段距离上所经过的导线或者电缆，同时在地理图中用高亮色进行表示。

（5）故障点定位后影响用户显示。在已经知道线路故障点杆位的情况下，结合地理图信息，可以列出所影响的用户（配变）。

2）配电网络模拟操作

（1）系统在首次建立全图拓扑关系时可对图中所有开关、闸刀正常状态进行初始化设置，以后在每次状态发生改变时均与正常状态进行比较，如不同就设为非正常方式，以便调度在操作时及时提醒。对正常方式的定义可随时进行修改。

（2）调度在发令操作前，可在地理图上进行模拟操作。系统能提供操作前后不同的线路有无电及负荷分布情况，使调度员对即将进行的操作有一个直观的概念。模拟操作后，可将运行状态恢复为当前运行状态，操作预演不产生任何实际效果。

（3）模拟操作能对不允许的操作发出警告。

3）工作票和操作票管理

工作票是管理设备的工作票记录，可以依据工作票的多种性质进行查询统计，根据工作票的执行情况，对停电或运行的线路进行拓扑着色。

对于要操作的设备对象，根据该设备的主接线图和实际运行状态，在接线图上模拟操作，系统自动生成操作票。系统能根据预先设置的典型操作票，对即将发生的误操作发出告警信号。操作票执行后，所有操作结果应在相应的接线图中反映出来，系统自动记录所有已执行的操作指令并保存存档，以备查询。

4）停电模拟运行分析

用户在所要操作的电网上点取要拉合的设备，经程序经过分析后，将所选设备中原先为开的合上，原先为关的打开，然后重新分析线路的停供电状态，刷新图形窗口，用

原先定好的符号显示有电或无电线路及设备。

程序在运行过程中分析变化了的信息（即有电变无电或无电变为有电），自动分析是否为双电源供电，如果为双电源供电线路，则不允许停电。

5）供电范围分析

（1）实现对配网设备下游的供电范围分析。

（2）支持对架空线路、电缆线路、开关进行下游供电区域进行分析。

（3）分析结果能够列表显示，能在图形上展现。

（4）分析结果可输出到 Excel 中。

6）电源追踪

（1）实现对配网设备上游的供电电源分析。

（2）支持对电缆线路、架空线路、开关、变压器进行上级供电路径进行分析。

（3）分析结果能够列表显示，能在图形上展现。

（4）分析结果可输出到 Excel 中。

（5）负荷接入点分析。

7）为负荷接入点提供参考方案

（1）支持在图形建立负荷接入点。

（2）能够对负荷接入点周围的配电变压器、开关站、架空线路进行供电路径分析，并给出合理的接入方案。

（3）在地理图上绘制出接入方案的供电路径。

8.2 电网 GIS 物联网工程技术设计方法

电网 GIS 输配电物联网系统一体化、电网 GIS 物联网信息安全架构设计方法、电网 GIS 与配电自动化系统集成设计方法是本节介绍的主要内容。

8.2.1 电网 GIS 输配电物联网系统一体化

GIS 是电网空间数据的重要载体与管理工具，传统的设计模式主要依据组织结构与电网管理职能来划分各系统，每类系统只为相关职能部门服务，如县局建设配电 GIS，地市局建设输电 GIS、通信光纤 GIS，几类系统之间没有直接的数据联系，纵向组织间也没有任何空间数据交换。这种模式不能全面完整地反映地区电网空间分布整体情况，软硬件资源利用率低，投资成本高，数据分散应用整合困难。

1. 供电企业电网 GIS 建设与应用现状

1）电网 GIS 技术在供电企业应用现状

经过近 10 年的研究与实践，电网 GIS 目前已经走出探索与研究阶段，开始步入实用化阶段。与前几年相比，一个明显的变化是，电网 GIS 在功能范围上有了很大的扩充，除涵盖传统的 AM/FM/GIS 之外，更加贴近企业生产业务实际，重视与企业生产业务流程的融合，GIS 作为专业化的图形分析展现工具而得到普遍认可。另外一个变化是电网 GIS 应用方向的转变。随着企业级实时数据库的建设，电网 GIS 开始系统地使用存贮在实时数据库（如 OSIsofi 公司的 PI）中的电网运行数据，在电子地图上实时模拟电网的运行状态，分析其历史变化，预测其发展趋势。利用 PI 数据库中的自动化数据，能够在 GIS 上在线分析输电线路的孤垂与负荷、温度等相关因素的变化关系，并在断面图上实时模拟线路孤垂变化情况。从这种角度来看，电网 GIS 已经由单纯的只反映电网拓扑结构的静态 GIS 开始转向既能反映当前电网运行状况又能预测其发展变化的实时电网 GIS。

随着电力信息化的发展推进，数据整合、应用集成的发展趋势更加明显，客观上要求各系统开放数据资源。输电 GIS 与配电 GIS 之间、通信光纤 GIS 之间也要求彼此共享不同的空间数据资源。在数据整合的基础上，对外提供统一的空间数据服务，满足实际业务对跨系统数据共享的需要，而通过接口与中间件技术打通几套 GIS 的方法在实践中会遇到诸多的问题，如不同系统间的坐标变换、输配电线路交叉跨越、通信光纤同步输电线路资源等问题，技术难度较大，难以彻底解决；这就需要重新审视目前的设计模式，围绕数据整合、应用集成的思路，探索符合电力业务实际需要的设计模式。

2）电网 GIS 常规建设模式分析

在供电企业 GIS 建设过程中，常规的设计模式是把配电 GIS、输电 GIS、通信光纤 GIS 分开单独设计，并不考虑几套系统间的内在逻辑关系，这主要有以下几个方面的原因。

（1）GIS 开发单位业务发展的限制。GIS 开发单位最初大多以开发配电网 GIS 起步，在进行设计时，主要关注的是配电网的管理，对输电业务、通信业务并没有深入的认识。除此之外，这几类系统在开发时间、开发厂商、主管单位、平台技术、设计理念上也存在很多差异，从而导致了各套系统分离的现状。

（2）供电企业认识水平的限制。虽然电力系统在很早就认识到统一规划、分步实施的重要性，但在实际建设时，还有很多不到位的地方，导致各类 GIS 系统间互不关联。

（3）GIS 平台技术与设计理念的限制。在电网 GIS 建设过程中，GIS 平台选取主要聚焦在 ArcGIS、GESmallWorld 等大型的 GIS 平台上，这些平台均有自己的鲜明特点，但这些平台还在发展，还在不断地融合新的信息技术与设计理念。早期的配电 GIS、输电 GIS 通信光纤 GIS 不可避免地受 GIS 平台设计技术的限制，从而在一定程度上造成了相互分离的现状。

2. 电网 GIS 输配电一体化技术特点

电网 GIS 输配电一体化基于数据整合、应用集成的设计模式，在地区级电网空间数据集中的基础上，统一开发各类电网 GIS 应用，满足地市局、县局的实际需要，它主要具有以下技术特点。

1）模型一体化

输电网络、配电网络、通信光纤网络之间联系非常密切，它们不仅在网络结构上相似，而且在电气（拓扑）上紧密相连，在空间位置上存在交叉重叠，是一个密不可分的整体。GIS 是对电网的真实模拟与抽象，GIS 空间中的“电网”也应像现实世界中的电网一样，是一个有机的整体，是企业各部门都需要共享的公共信息资源。在设计电网 GIS 时，要有系统观念，从整体上对电网模型进行一体化的设计，避免人为地产生新的信息孤岛。

在进行一体化建模时，应采用流行的面向对象的设计方法进行全信息建模。模型既包括输电、变电、配电领域内的不同电压等级的电力设备，又包括与输配电紧密相关的通信光纤网络设备，不仅包括设备模型的文本属性信息，而且包含设备模型的图形及空间拓扑信息，形成全网一致描述，使图形和数据一体化集成，从而彻底解决传统生产管理应用中静态图形和数据关系割裂的问题。模型一体化设计的实质是在传统的输电 GIS 与配电 GIS 间建立对电网对象的一致定义与管理，在具体设计时，除考虑 GIS 平台设计技术之外，可以适当参考 IEC61970/61968 中的 CIM 模型标准。

2）数据集中部署

数据集中部署是实现电网 GIS 输配电一体化的前提，在地区统一平台基础上建立集中的空间数据中心，实现地区局输电数据、通信光纤数据与县局配电数据的物理集中存贮，一体化的模型设计使各类型空间数据逻辑集中成为可能。以 SmallWorldGIS 平台为例，空间数据可以集中部署在地区局统一的 GIS 主机上，通过 Smallworld 的 SOC（Spatial Object Controller）技术实现空间数据的统一控制，通过 SIAS（Small world Internet Application Server）提供一致的基于 B/S 模式的空间数据服务。

3）输配电同图显示

输配电同图显示即在同一张电子地图上既能够显示区域内所有的配网数据，又能够显示输电网络、通信光纤网络数据，满足跨专业综合统计与分析的需要。要实现输配同图显示，首先需要统一电子地图资源，在统一坐标体系的基础上，确定合适的坐标原点，实现不同比例尺电子地图（如 1 ∶ 10000 与 1 ∶ 500）的无缝拼接与校正，统一坐标体系与坐标原点也是实现电网设备在电子地图上准备定位的基础。其次需要统一设备编码，建立能够涵盖各电压等级设备的编码体系，规范设备命名。编码在设计时要充分结合现有的标准，避免重复工作。

4）统一权限管理

统一的权限管理是“应用集成”的保障。考虑到使用对象的业务差异性与管理目标的不同，在具体开发电网 GIS 各子系统时，要从整体上规划权限体系，不仅要支持现有

的组织模式与业务模式，能够满足地、县两级企业内所有专业、部门对电网的不同维护需要，而且要具有灵活性与扩充性，能适应组织结构的调整。

GIS 中的权限体系配置时要根据各专业管理范围确定，如高压输电线路编辑与输入权限在市局主管输电线路的业务部门（如线路工区），只能通过专业的输电 GIS 子系统来维护。通信管理部门要利用线路资源时，只能通过通信光纤 GIS 子系统获取，通信光纤 GIS 子系统中对线路资源不具有任何更改与编辑权限，但具有对通信线路的编码与更改权限，这与实际的业务管理模式是相符的。

3. 电网 GIS 输配电一体化优势

与传统的 GIS 设计模式相比较，电网 GIS 输配电一体化的设计模式具有以下优点。

1）投资少，维护成本低

电网 GIS 输配电一体化模式，只需地市局购买一套硬件设备与 GIS 软件平台，就能够满足管理需要，而且软件统一开发实施，可节省大量的投资，可以更加充分利用服务器资源，性价比得到极大提高。

新的设计模式在部署与日常维护时能够有效节省人力与成本支出。由于数据集中在地市局，只需要一套班子就能对整个地区内的所有输配电数据进行日常备份维护工作，而且系统升级时能够加快部署速度，减少 IT 运维人员工作量。

2）深化应用，提升业务管理

从功能覆盖范围来看，除传统的输电 GIS、配电 GIS、通信光纤 GIS 功能有所增强之外，一些涉及多系统的边界问题也得到有效解决。例如，按照传统的分散建设模式，由于输电 GIS 与配电 GIS 没有数据联系，很难同时从两套系统中获取全面的输配电线路交叉跨越数据，而交跨点是运行巡视的重点部位，需要特别关注；而输配一体化设计模式则能有效解决这些问题。除此之外，跨各类 GIS 系统间的数据同步更新也是传统模式难以解决的障碍。例如，通信部门在管理光纤网络时，需要及时获取最新的输电架空线路最新数据，传统模式下的输电 GIS 与光纤通信 GIS 很难有效解决。新的设计模式不仅能有效解决类似问题，深化了电网 GIS 应用，而且能提升各专业的管理水平。

3）优化运行模式，简化业务流程

电网 GIS 输配电一体化旨在解决长期以来困扰地市供电企业与县级供电企业电网空间信息共享问题，该模式将输电 GIS、配电 GIS、通信光纤 GIS 所涉及的空间信息资源进行有效整合与统一设计，与现有的组织架构与业务管理职能有效结合，扩展了传统的 GIS 系统，为县级供电企业、地市供电企业对电网空间信息的充分获取创造技术条件，在地市供电企业具有广阔的应用推广前景。

4. 可行性分析

经过近些年的发展，以电网 GIS 二次开发商为代表的开发单位，在供电企业的 GIS 开发中已经占据了主导地位。它们在与电力系统不断接触过程中，逐步熟悉电力业务，

解决了影响其发展的关键问题；业务范围也不断扩大，在配电 GIS 开发成功后，又将产品体系延伸到输电 GIS、光纤通信 GIS 等各个领域，输电 GIS 与配电 GIS、通信光纤 GIS。从设计技术上来看，本身并没有太大的差异，只是业务目标与服务对象不同而已。因此，随着开发商实施项目的增多与业务积累，客观上已经具备了对电网 GIS 空间数据资源进行统一规划开发的能力。

供电企业认识与管理水平提高。随着电力信息化应用的推进，传统分散 GIS 设计模式逐渐暴露出很多问题，企业经常面临数据整合的困惑。因为数据整合对原有的系统冲击很大，原有的系统难以满足数据共享的要求。通过电网 GIS 应用的深入，对电网 GIS 及统规划有了更加深入的认识与体验，从而能够更加客观地看待一体化的 GIS 设计模式。

电网 GIS 平台技术的提升与设计理念的更新。随着大型电网 GIS 平台的不断更新与技术升级，除传统的功能之外，大型的电网 GIS 平台本身为电力业务提供更多的支持。很多 GIS 平台本身就提供了丰富的电力设备模型，开发技术也在不断升级，融入了主流的开发与设计技术，为电网 GIS 输配一体化设计创造了技术条件。

5. 结论

近年来，随着国民经济的快速发展，电网规模也急剧扩大，不同电压等级的变电站数量、变电容量和线路长度都在快速增长，电网的运行维护任务日趋繁重，管理难度与成本越来越高。依靠科技进步，不断提升电网管理水平，成为各级供电企业追求的目标。

电网 GIS 输配电一体化模式将改变传统的分散设计理念，其核心是对电网空间信息资源的统一规划设计，它通过建设集中的地区级电网空间数据中心，在统一平台与模型的基础上，开发各种空间数据服务与电网 GIS 应用，解决市地供电企业与所辖县级供电企业之间空间数据与应用共享问题，从根本上解决传统 GIS 模式的诸多弊端，这对减少企业重复投资，提升软硬件资源利用率，具有现实的意义。

8.2.2 网络三维 GIS 与电网工程数字化设计移交系统

近年来，国家电网建设力度加快，发展方式转变，跨区电网工程进入跨越式发展的新阶段。优化调整管理体系和工作机制，形成职责清晰、责权对等、协同高效的管控模式，实现核心资源集中管理、统一调控、优化配置、合理布局，提升整体管理水平和运营效率等一系列工作需要整合资源，掌握完整、准确的电网建设的基础信息，才能更好地服务于国家智能电网建设。

目前，我国电网工程设计成果管理尚未形成统一的数字化移交管理体系，各网省公司电网建设规划和勘测设计资源相对分散，电网工程主要分布在工程设计和建设等单位，造成电网建设项目的设计成果查询困难，规范管理相对滞后。三维 GIS 在电网建设过程中的应用近几年取得了一些成果，利用三维 GIS 能够进行规划、设计、施工以及运行系

统的建设，但与数字化设计平台的集成目前尚未形成有机的统一体。基于以上两点，在B/S架构实现三维GIS与电网工程数字化设计移交的系统集成，基于三维GIS的电网三维数字化设计移交平台的建设与应用，实现了将基础地理数据、设计数据、附属数据等数据信息以及系统平台一并作为三维数字化设计成果移交给业主单位，满足了用户的信息化需求。

1. 系统目标

目标是搭建网络平台，实现三维GIS系统与数字化设计移交的系统集成，将电网工程数字化设计成果在三维平台上进行综合展现，提升数据管理的信息化水平。主要包括以下几个方面。

（1）通过数字化设计成果移交系统实现电网设计阶段的数字化成果移交的规范化、标准化，实现电网建设各阶段信息的充分共享。

（2）通过三维GIS平台实现基础地理数据、设计成果的展示，实现电网工程数据的综合查询。

（3）通过系统集成充分发挥三维GIS平台与数字化设计移交系统各自的优势，实现数字化成果的充分共享与统一管理。

（4）通过制定规范的数据处理流程减少数据处理的重复性工作，有效降低生产成本与数据成本，提高数据的使用率。

（5）研究电网工程数字化移交的工作流程和工作模式，减轻相关人员的工作量，提升电网工程设计成果的信息化管理水平。

2. 网络三维GIS系统集成功能

网络三维GIS系统采用ActiveX控件技术实现，将三维GIS基础平台封装成控件并嵌入网页，同时将基础平台的接口利用JavaScript脚本语言做进一步的封装。用户只需要运行浏览器，并在浏览器中安装注册ActiveX控件，即可访问Web服务器上的系统界面。Web服务器接收到用户的请求后，通过与客户端注册的ActiveX控件和应用服务器上的应用程序进行对话，将业务请求发送给应用模块。在应用服务器上，同时运行大量应用模块，各自能够完成不同目的的业务逻辑。

网络三维GIS系统可实现电网资源的结构化管理和图形化展现，以面向服务的架构为各类业务应用提供电网图形和分析服务的企业级电网空间信息服务平台。该三维GIS系统以电网资源的空间结构、位置信息以及图形可视化为核心，重点表现电网设备的空间位置与电网的拓扑关系，可为多种电力业务应用提供服务。

1）基础地理数据发布

利用遥感数据获取技术采集所需的影像和数字高程模型数据，通过对数据进行纠正、配准、镶嵌、融合等处理，根据四叉树原理进行金字塔瓦片构建并建立高效索引机制，以瓦片文件形式进行存储、管理与发布。

2）电网三维模型构建

电网三维模型构建将电网三维模型以数据库的方式进行存储，系统调用时首先构建关联关系，通过合理的调度方式进行加载，可实现变电站、杆塔等模型的加载，绝缘子 / 金具、导线的精确绘制，能够完整地构建出电网三维模型的拓扑关系。

3）三维基本功能

三维基本功能提供场景基本操作、多种对象绘制、图层管理、空间分析等相关功能。

4）电网图形及电网分析服务

通过虚拟仿真的方式表现电网模型，可实现工程信息查询，可对设备模型进行属性查询，可实现设备模型的相关分析。

3. 电网工程数字化设计成果移交

电网工程数字化设计与移交工作是电网工程建设中的一项重要工作，从设计的源头到最终的数字化移交都可以通过标准化、科学化的管理手段进行实施。电网工程数字化设计成果包含基础地理信息数据以及初步设计、施工图设计、竣工图设计三个阶段的多项资料，这些资料记录了电网工程设计的整个过程。

（1）数字化移交的概念：工程数据库中有所有设备完整的工程信息、参数信息与编码信息，平台从工程数据库中提取完整的信息，根据业主指定的移交对象的系统要求，定制数据通道（接口），由此实现数字化移交。

（2）数字化移交的对象：根据不同项目要求，将数字化设计成果移交给相关业主单位。

（3）数字化移交的方式：设计方使用约定好的信息系统，使承载整个项目的信息按照约定的要求将整个系统连同全部数据信息一并进行整体移交。

从三维数字化设计到数字化移交的理念符合当前电网工程设计管理的需求。通过数字化移交，可以规范数据处理、三维设计的流程，促进成果的标准化；可为业主提供数字化采购支持，业主可以通过数字化移交的方式获得全部的成果信息；可为业主提供数字化施工支持，移交成果可以再利用。

4. 集成应用

基于 J2EE 开发，以三维 GIS、空间数据库、网络计算为技术支撑，充分整合遥感影像、数字高程模型、电网三维模型、工程设计成果等信息，通过电网工程数据的规范化、标准化处理，形成统一的数字化移交管理体系，实现包括跨区电网、交直流特高压等输电线路和变电站在内的数字化成果的统一管理。数字化移交的主要功能包括成果移交管理、三维展示、档案检索、系统管理等，通过系统集成与共享，服务于电网工程的设计管理、施工管理、运行检修管理、应急抢险，实现移交数据与系统的再利用。

（1）数据集成。将初步设计、施工图设计、竣工图设计三个阶段的基础地理数据、设计图纸、档案数据、模型参数、三维模型数据以及其他附属信息经过规范化、流程化

处理并入库，从而达到数据的集成与统一管理。

（2）应用集成。依据电网业务数据流主线，充分考虑集成信息的时效性、吞吐量和安全性等，利用企业服务总线、关系数据库共享、定制接口等方法对电网业务流程应用进行集成；以电网三维模型数据为核心，将其与设备属性关系数据建立快速关联机制，提供模型信息的综合查询和维护更新。

5. 应用案例

特高压交流工程数字化成果移交管理系统已经成功应用于“皖电东送”淮南至上海特高压交流输电示范工程，实现了对可研、初设、施设及竣工资料的整体数字化移交，对移交电网工程数字化成果进行三维展示和综合查询，实现了数据的集成与共享。

1）电网三维模型展示

将设备模型按照设计图纸进行 1 ∶ 1 精细化建模，并基于面向对象的思想，针对电力设备对象进行抽象与组件化管理，支持模型单元自动组装、设备拓扑关系、电网拓扑关系的动态调度，同时采用简化及调度算法，实现精细化电网三维模型的快速调度与渲染。

2）属性信息查询

移交系统中包含线路、杆塔、变电站等电网三维模型设备属性数据，将系统中三维模型数据与属性数据根据指定的编码方式进行对接，可以实现相应的属性查询。

6. 结论

将网络三维 GIS 与电网工程数字化设计移交进行系统集成，可以增强电网工程数据的可视化效果，促进工程数据处理的标准化，辅助工程建设精益化管控，实现设计成果的有机统一与资源再利用。除了设计并实现了网络版电网工程数字化移交系统，还探索性地对电网工程数字化移交模式、移交流程进行了研究，建立了数字化成果移交数据库，为后续更好地服务于智能电网建设奠定了基础。

8.2.3　电网 GIS 物联网信息安全架构设计方法

电网 GIS 的信息安全防护共包括三个层次，分别为平台环境安全防护、应用安全防护和数据安全防护。

1. 平台环境安全设计

电网 GIS 平台的环境安全防护共包括三个方面，分别为物理安全、网络防护、系统安全。

1）物理安全

物理安全是保护支撑 GIS 平台运行的各类设备、数据免受水灾、火灾等环境事故、

人为操作失误或错误及各种计算机犯罪行为导致的破坏。

物理安全防护要点有：进行身份控制，安装完善的监控系统，防止人为的物理实体破坏；对环境（温度、湿度、水位）进行严格的指标限制，有完善的环境控制系统；对机房等重要场所需要更严格的控制；配备极早期火灾报警系统和消防系统。

制定相关的管理制度。机房禁止无关人员出入，严格执行来访登记制度，从管理上进行严格控制。所有的网络设备（包括交换机、路由器、服务器、防火墙等）都应设置物理保护，不能随意让人接触，服务器系统都应加带口令的屏幕保护及键盘锁。

机房应按国家相关标准建设，能够对机房的温度和湿度进行控制，要设有火灾、烟雾自动报警装置，必要时配备气体自动灭火设施，机房的保护地安装要符合有关标准。

关键的主机系统采用双机集群高可用性技术，实现任务分担、负载均衡和失效转移等功能。所有的相关主机和设备都应统一编号，定期进行维护。

2）网络安全

网络安全指网络设备的安全和边界防护。

网络设备的安全网络设备需要进行安全配置，禁止不需要的服务和端口。对网络设备访问要做好访问控制，禁止远程访问；对网络设备的配置需要进行及时更新和定期检查。

边界防护指采用严格的接入控制措施，保证电网 GIS 平台网络只有合法的节点接入和数据流动。边界防护的要点包括逻辑区划分和逻辑隔离。

依据电力二次系统安全防护要求，电网 GIS 平台为管理信息大区的三级应用，电网 GIS 平台网络与其他应用系统网络采用独立的逻辑安全区域，禁止其他无关系统对电网 GIS 平台网络的访问。

如需要和下级的电网 GIS 平台或业务系统进行相关数据的交换，在网络边界采用防火墙进行隔离，对防火墙的安全策略需要进行合理配置和及时更新、检查。

3）系统安全

系统安全主要指电网 GIS 平台的主机系统、桌面终端系统的安全，包括操作系统、中间件、数据库系统的安全。

（1）主机安全加固。

选择相对安全的操作系统、中间件和数据库系统，需要对主机系统进行必要的加固。对操作系统用户、中间件系统、数据库系统的用户进行有效管理，禁止默认口令和弱口令；对系统文件进行有效的保护，防止被篡改和替换。

（2）安全更新。

目的是检查主机和设备的操作系统是否有供应商提供的更新，消除系统内核漏洞与后门。安装主机防病毒软件，对服务器和桌面终端安装防病毒软件，定期进行病毒库的更新。

2. 应用安全设计

应用防护指电网 GIS 平台本身的安全性，主要从身份管理、身份认证、访问控制、

安全审计等方面考虑。

1）身份管理

在 SG186 工程目录系统中统一存储和维护用户信息和认证信息。电网 GIS 平台的用户身份信息从目录系统获取，为保证系统的独立性和权限管理，实现和组织机构相关的需求，用户和组织机构信息需要在本地冗余存储。当目录系统中的用户信息、组织机构信息发生变化时，电网 GIS 平台需进行同步，电网 GIS 平台本身不直接修改用户信息，用户口令不得以明文方式出现在程序及配置文件中。

电网 GIS 平台登录、重要资源的访问与操作要求进行身份认证。身份认证采用和 SG186 工程目录系统集成实现身份认证的方式。认证系统将经过鉴定的用户信息以安全的方式传递给电网 GIS 平台。电网 GIS 平台利用认证系统传递的用户信息确认用户身份，实现单点登录或返回请求的资源。跨域认证基于总部、网省公司的身份认证服务器间的级联认证，在网省公司身份目录中需维护部分来自于总部身份目录中的用户信息。

2）访问控制

电网 GIS 平台采用基于角色的权限控制，用户可以绑定角色并可以直接分配具体权限，提供角色委托等动态权限，并实现分级授权体系，以满足精细化、实用化的权限控制需求。

系统权限包括功能权限、数据权限、授权权限三种类型，分别对用户的可使用功能、可访问数据和具有的授权范围进行约束。GIS 平台根据当前登录用户的权限对用户使用的功能和访问的数据进行严格控制和分配。

3）安全审计

电网 GIS 平台提供系统运行的各类信息日志记录功能，提供各类系统事件和用户操作的详细记录。这些事件记录包括系统访问日志、功能日志、数据库访问日志等，提供对各类日志的查询和统计功能，及时分析系统安全事件，实现系统安全运行管理。

3. 数据安全设计

为了保证电网 GIS 平台管理数据的机密性、完整性和可用性。对电网 GIS 平台涉及的所有数据进行分类，分析数据的机密性、完整性和可用性的安全需求，采取相应的安全措施。

1）数据机密性保护

地图数据应采用数据加密方式保证数据的机密性，地图数据加密包括数据在网络的加密传输、本地缓存数据的加密存储。对不同机密性要求的数据可以采用不同的密码技术。

2）数据完整性保护

GIS 平台与外部系统交换数据时，可以对数据进行完整性保护，即采用数字签名 / 数字摘要方式保证数据完整性。

3）数据可用性保护

对数据库进行定期备份，对不同数据可用性要求的数据采用不同的备份与恢复技术。

8.2.4　电网 GIS 与配电自动化系统集成设计方法

1. 概述

电网 GIS 空间信息服务平台是构建在 SG186 工程一体化平台之内，实现电网资源的结构化管理和图形化展现，为各类业务应用提供电网图形和分析服务的企业级空间信息服务平台。数据范围涵盖输变配用电网属性数据、空间数据和拓扑数据。电网 GIS 平台的主要功能包括基础图形管理、电网资源模型构建、电网专题图管理等，并对外提供各类电网图形及电网分析服务。

配电自动化系统是实现配电网的运行监视和控制的自动化系统，具备配电 SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）、馈线自动化（Feeder Automation）、电网分析应用及与相关应用系统互连等功能，主要由配电主站、配电终端、配电子站和通信通道等部分组成。

为了进一步整合电网业务，有效进行数据集成，需将配电自动化系统、电网 GIS 平台、生产管理信息系统进行横向集成和数据整合。通过应用集成方式，建立共享交换机制，最终实现以下目标。

（1）实现图形连接和电气拓扑模型的数据流动与共享，保证电网 GIS 平台与配电自动化系统对电网结构描述的一致性。

（2）实时数据断面同步至电网 GIS 平台中。

（3）电网 GIS 平台根据需求提取设备的历史数据。

（4）配电自动化系统与电网 GIS 平台、生产管理信息系统在数据集成基础上，进一步推进具体业务层面的耦合业务流程进行，提高信息化程度。

2. 集成需求

电网 GIS 平台和配电自动化系统都属于电力系统生产部门的专业系统，与电网模型描述有较为密切的业务联系。

1）电网模型、图形信息

电网 GIS 平台和配电自动化系统都存在对电网模型的连接、拓扑关系的图形化描述。配电自动化系统侧重于电网运行设备的实时监控与方式调度，而电网 GIS 平台侧重于电网设备资产管理和空间信息描述和拓扑表达，在模型描述、建模粒度、管理方式均存在差异。在 IEC61968/61970 标准体系指导下，由电网 GIS 平台、配电自动化系统统一 CIM 表达，进行电网数据交换。

配电自动化系统存在对电网设备图形化描述的需求，为获取电网设备拓扑模型及图形来构建其基础电网模型，电网 GIS 平台需为配电自动化系统提供数据支持。电网 GIS 平台和配电自动化系统的电网模型数据集成，是实时数据集成和业务流程耦合的基础。

电网 GIS 平台提供电网结构的空间位置信息、拓扑连接信息以及电气设备公共属性

信息。配电自动化系统需要相关设备电气特性时，可从生产管理信息系统获得。电网模型以电气专题图形式表达。

（1）厂站一次接线图。

定义：厂站一次接线图是指直接用于生产、输送和分配电能的过程中的中高压电气设备连接图。

站房类别：变电站、配电站、开关站、箱式变电站、电能用户等。

设备要素：站内进出线、变压器、断路器、隔离开关、负荷开关、母线、配电线路、电力电缆、电缆端子头、电流 / 电压互感器、电容器等一次设备。

数据边界：电气关系从进线终端直到出线终端为止。

布局：上下级电源关系清楚，反映设备连接分布。

（2）单线图。

定义：将地理电网接线图中单条线路（馈线）以多种形式展现的，反映电网设备连接关系和状态的单线系统图。

设备要素：单线系统图包括地理电气接线图中该线路的多类设备，如变电站、配电室、箱式变、线路电杆、导线、线路联络 / 分段开关、变压器、电能用户等主要设备和节点。

数据边界：根据拓扑判定线路电气关系，从出线开关到末端站房 / 用电设备，或者到线路联络开关为止（包含联络开关），如果联络在站房内（如环网柜），到该站房为止。

布局：系统自动 / 手动美化后横平竖直的，符合调度使用的图形分布。

（3）系统图。

定义：按照电网模型拓扑关系规则，依据一定的排布成图规则和特定数据类型，从地理电网模型抽取的反映区域电网连接关系的逻辑系统图。

设备要素：电气接线图中的开关、变压器、电气导线电缆等主设备。

布局：系统美化后能清晰反映电网设备和主节点的连接关系分布。

2）设备异动及审核

设备异动是电网生产运行中的重要业务，关系到供电网络运行参数和网架结构。

生产业务人员在生产管理信息系统（PMS）中发起设备异动，通过与电网 GIS 平台紧耦合操作，进行设备异动申请，展开相应操作，同时在电网 GIS 平台中更新设备拓扑关系。由电网 GIS 平台将更新的设备拓扑结构提交审核，审核不通过将在系统中对异动进行调整；审核通过后，在 PMS 系统中安排工作并执行设备投运，同时在电网 GIS 平台中将更新专题图发布，同步至配电自动化系统。

3）电网实时信息

电网 GIS 平台需要配电自动化系统提供电网实时数据。电网实时数据包括遥信量和遥测量；设备主要包括开关类、变压器类以及母线类。

电网实时数据集成建立在配电自动化系统和电网 GIS 平台的电网一致性描述的基础上。配电自动化系统按设定时间间隔以全量或增量方式把最新数据断面打包到消息体中，把消息推送到总线上。GIS 服务器上部署一个消息侦听服务程序，时刻监视着从总线上

发送给 GIS 的消息，只要从总线上接收到消息，就解析消息体，把最新的实时数据以更新或插入方式更新到 GIS 端的数据库中。通过该方式，GIS 数据库中获得了一份配网自动化系统最近的准实时断面数据。GIS 客户端可以从 GIS 数据库中获得设备的准实时遥测、遥信量，将电网图形与实时运行信息、电网运行状态进行叠加分析显示。例如，可实现对厂站及地理图上区域电网的带电状况，和潮流电压分布展示；可采用动态着色方式，实时监视馈线分段 / 联络开关状态和馈线电流；可结合停电管理显示馈线故障段；可根据配电自动化系统提供的实时停电数据结合营销用户数据，判定停电范围 / 停电影响范围并进行展示，以及停电数据统计分析；还可利用实时数据进行负荷密度分析，负荷转移决策等。

4）电网历史数据

电网 GIS 平台根据用户需求可从配网自动化系统获取设备的历史数据。电网历史数据包括电流历史数据、电压历史数据、有功历史数据和无功历史数据。历史数据按需提供，用来在 GIS 平台上绘制设备遥测数据的历史曲线。在有实时数据的设备上，可以查看它的遥测数据的历史曲线，反映该设备一段时间内的运行情况。具体操作过程是，GIS 客户端调用 GIS 消息服务程序，首先发起数据请求，把要取历史数据的参数，包括设备生产业务 ID 号、所在区域、时间范围、值类型（采样值、统计值）等，封装在请求消息中，发送到总线相应地市的消息队列中；配网自动化系统从对应的消息队列里面取到消息请求后，进行解析操作把对应设备的历史数据放到应答消息中，发送到总线相应的应答消息队列中，经 GIS 消息服务处理，把包含历史数据的应答消息转发到 GIS 客户端。至此，系统完成了整个数据请求的过程。

5）地理背景信息

配电自动化系统存在对地理信息描述的需求。电网 GIS 平台提供两种带有地理矢量、影像背景的电网地理图图形接口，一是直接获取基于范围的电网图形，通过设置图层使其包含地理矢量、影像背景；二是可通过获取地图切片操作得到。

3. 进度及质量评估

领导小组和工作小组在项目实施过程中针对实施进度和实施质量进行评估，内容主要包括如下几点：

（1）电网 GIS 项目实施组是否按计划完成电网 GIS 平台空间信息服务的部署。

（2）电网 GIS 项目实施组是否按计划完成在 ESB 中创建消息队列。

（3）配电专业组是否按计划完成生产设备数据的维护、完成单线图布局的调整。

（4）项目实施组是否按计划完成电网 GIS 平台与配电自动化系统接口部署与测试，完成情况是否达到国网验收标准。

（5）领导小组和工作小组组长及副组长根据国网验收标准对集成的成果进行评估，是否达到验收标准的要求。

8.3　辽宁电网 GIS 空间信息服务平台建设案例

电网 GIS 建设目标及原则、电网 GIS 总体功能框架、电网 GIS 物联网系统主要应用功能、辽宁电网 GIS 空间信息服务平台建设案例分析是本节介绍的主要内容。

8.3.1　电网 GIS 建设目标及原则

1. 建设目标

辽宁电网 GIS 空间信息服务平台建设，是推进企业信息化建设，贯彻国家电网公司“一强三优”战略目标的有机组成部分。

（1）电网 GIS 平台建设能够满足辽宁省电力公司的日常生产管理要求，能够对各专业应用提供统一空间信息服务。

（2）指导智能电网建设，有效地提高电网 GIS 平台建设的实用化程度，保证电网 GIS 平台与全公司信息化建设的协调发展。

（3）做到科学决策、民主决策，在保障社会效益的基础上，努力提高电力企业的经济效益，实现公司的可持续性发展。

（4）通过电网 GIS 平台建设，对诸多系统（包括生产管理信息系统在内）的空间信息服务的集成原则、方法、方式进行探讨和约定，力求实现能够为各系统提供图形服务、拓扑分析及高级应用，实现电网图形数据最大程度的共享。

2. 建设原则

电网 GIS 平台建设与辽宁省电力公司信息化要求保持一致，并适时、适度地超前当前信息化的发展，在充分分析信息建设现状的基础上，积极采用先进适用的技术，改造、发展、完善现有的信息化系统，为电力生产、电力服务提供更多的支持。电网 GIS 平台建设遵循以下原则。

1）统筹规划，分步实施

电网 GIS 平台建设应符合“辽宁省电力公司信息化规划”的要求。电网 GIS 平台建设是辽宁省电力公司整个信息化建设内容之一；通过电网 GIS 平台建设，理顺电网 GIS 空间信息与生产管理、营销管理、调度管理、电网规划等各业务及其相关部门的关系，规范行为，合理布局，减少不必要的重复建设；电网 GIS 平台建设的规模和水平相对于企业发展的需求适度超前；电网 GIS 平台建设必须有层次，有步骤，循序渐进，讲求实效。

2）加强平台建设，推进专业应用

电网 GIS 平台是所有 GIS 专业应用的基础平台，同时是数据共享的平台。GIS 平台

建设是企业数字化的首要步骤，稳固的、高效率的、易扩展的 GIS 应用平台是电网专业应用系统的实用化的前提。电网专业应用系统在平台基础可有层次、有步骤地实施，减少“信息孤岛”，构建一体化应用系统。

3）重视数据工程，促进系统实用化

GIS 的技术优势之一在于它的混合数据结构和有效的数据集成，及在此数据基础上的地理空间分析能力。GIS 建设核心应该是空间数据的建设，包括基础地理空间数据、基础电力空间数据、电力运行数据、用户数据等数据。数据是电网 GIS 平台建设的基础，是应用系统实用化的前提条件，而系统实用化同时保证了数据的权威性。

4）提高电网生产与管理支撑能力

电网 GIS 平台的建设是一个系统工程，除软件、数据的建设外，制度保障、网络建设、硬件建设、人员培训等也是系统建设不可缺少的内容。电网 GIS 平台对系统运行图形支撑部分进行统一管理，以保证系统及时、有效的推广应用。

提升服务能力，提高生产效率，适应于生产流程再造。信息系统建设的需求来源于生产，最后回归到生产中，服务于生产。电网 GIS 平台建设应充分考虑实际生产的需要，解决生产过程中出现的问题，着眼于提高企业服务能力，提高生产效率，满足生产流程再造的需求。

3. 可能的风险及应对措施

结合辽宁电网 GIS 建设现状和信息化基础设施建设的现状，根据电网 GIS 平台建设统一要求，提出了建设目标：通过电网 GIS 建设，要完成基础数据、电网 GIS 平台、配电网 GIS、营销 GIS、输电网 GIS、配电网规划 GIS 和通信网 GIS 的建设。辽宁省电力公司电网 GIS 平台建成以后将能显著提高辽宁省电力公司的管理水平、服务能力和经济效益。

（1）研究制定电网 GIS 平台建设的相关政策。电网 GIS 平台的实施是一个长期的过程，需要大量的资金投入和组织协调才能取得成功。因此，需要领导重视并尽快制定相关政策，保证资金的落实和人员的到位。特别是要成立电网 GIS 平台建设领导小组，定期检查和督导电网 GIS 平台的实施进度和实施方向，从组织上和资源上保证电网 GIS 平台建设的有效实施。

（2）电网 GIS 平台建设要纳入辽宁省电力公司信息化规划中。要把电网 GIS 平台建设纳入规划辽宁省电力公司发展规划，使得电网 GIS 平台建设的实施和业务流程的改造、支撑体系建设一起和谐开展。

（3）采用长期规划，分步实施的建设策略。电网 GIS 平台涉及数据内容庞大，软件功能繁多，使用人员面广量大，业务内容复杂，因此建设电网 GIS 平台必须遵循“长期规划，分步实施”的建设模式。在此过程中，要设立好阶段性目标，采用“小步快跑”的方法实现逐步实现。

（4）电网 GIS 平台建设是一个系统工程。电网 GIS 平台应该包含数据、软件、硬件、

人员、技术、制度、培训、服务，还与业务流程和管理目标相关，因此电网 GIS 平台建设是一个系统工程。

（5）数据工程是重中之重。数据是平台，是整个电网 GIS 平台的基础，电网 GIS 平台建设的成败和强弱取决于数据建设水平，数据定时更新和数据的正确性是电网 GIS 平台具有生命力的源泉。数据工程和软件开发相比，数据工程的工作量更大，更复杂。数据工程需要资金投入、组织协调和长年累月的坚持，需要将数据工程工作融入业务流程中，变成日常工作不可分割的组成部分，使用 GIS 进行数据更新、数据分析和管理辅助工具成为常态管理方法，只有这样，电网 GIS 平台建设是成功的。

（6）提高管理水平和服务能力是电网 GIS 平台建设的目标。电网 GIS 平台建设的最终目标是为了提高管理水平和服务能力，从而提高赢利能力。因此，每个阶段都要明晰使用电网 GIS 平台所要达到的阶段性管理目标，这样才能获得领导的重视，增强使用人员的信心。

（7）重视支撑体系建设，为电网 GIS 平台实施提供保障。支撑体系的建设将影响到电网 GIS 平台建设的成败，电网 GIS 平台的大数据量不仅要求从软件体系结构上合理配置，还要求硬件网络提供支持，信息安全规划、管理制度规划、人力资源规划、培训规划等每个方面的建设。这些方面在每个阶段都必须有明晰的阶段性目标，与所要达到的管理目标相适应，并在全局上下形成共识。

（8）善于借鉴国内外电网 GIS 平台建设的最佳实践。国内外电网 GIS 平台建设已经有十多年的历史，有很多成功的经验，也有很多失败的教训，国外的电网 GIS 平台建设比国内要成熟。过去的电网 GIS 平台建设，大多是针对电力业务中某个环节来展开的，如配网资产管理、配网自动化、输电资产管理等在这些实践中有很多有益的东西值得借鉴。在辽宁省电力公司的电网 GIS 平台建设过程中，应该博采众家之长，融会贯通，为我所用，最终建成国内领先的电网 GIS 平台。

8.3.2 电网 GIS 基础数据准备方案

为满足辽宁省电力公司电网规划、生产、管理需要而建设的各种数据和数据标准构成了辽宁省电力公司的数据基础设施，它包括基础地理数据、电网资源空间数据、电网资源属性数据和综合数据四大类。数据基础设施是数字模拟电网环境的集合，能提供标准参照数据，满足各个专业开展基于地理空间的各项应用的需要，是一个基础公用的数据平台。对于这些数据，根据耦合程度和数据量分别建成一系列的主题数据库。

1. 基础地理空间数据准备

1）按照比例尺和数据格式分类

（1）中比例尺矢量基础地理数据库。比例尺为 1 ∶ 10000、1 ∶ 5000，包括居民地、道路、水系、等高线、植被、注记等图层。

（2）大比例尺矢量基础地理数据库，比例尺为 1 ∶ 1000、1 ∶ 500，包括建筑物、主要道路、次要道路、水系、植被、注记等图层。

（3）卫片和航片地理数据库。采用的卫片分辨率为 10m、5m、2.5m、1m、0.61m 等，采用的航片分辨率为一般小于 1m。

2）按照时间序列分类

（1）历史地理数据库。对于中比例尺矢量基础地理数据、大比例尺矢量基础地理数据、卫片和航片地理数据，都要按照时间序列形成三个历史主题数据库。每个时间点或时间段形成的多个地理数据图层形成一个按照时间作为版本标志的地理数据库，每个主题数据库包含按时间序列组织的多个版本的地理数据库。

（2）当前地理数据库。当前地理数据库中由在时间上一致、距离当前时间最近的最新版本的地理数据组成，包括中比例尺矢量地理数据、大比例尺矢量地理数据、卫片和航片地理数据。

2. 电网资源空间数据准备

（1）输电网设备设施图形数据库。该库由地理接线图、网架图、单线剖面图、污区图、雷电分布图等组成。地理接线图包括杆塔层、线路层、设备层、站所层等图层，网架层是由站所和表达主要走向的输电线路组成。

（2）配电网中压设备设施图形数据库。该库由地理接线图、单线图、站所内部接线图、电网系统图、电缆剖面图等组成。地理接线图和单线图包括杆塔层、线路层、设备层、站所层等图层，电网系统图包括站所内部接线、馈线段、分段开关、联络开关等数据，低压台片图由杆塔层、低压线路层、设备层等图层组成。

（3）配电网低压设备设施图形数据库。该库由低压台片地理接线图、低压台片单线图图形数据库组成，包括杆塔层、线路层、设备层等图层。

（4）统计分析的专题数据库。

（5）原 GIS 系统中存在部分历史数据，可以先对这些历史数据进行核对，然后着手采集缺失的数据。

3. 电网资源属性数据准备

输电网设备设施台账数据库包括杆塔、线路、设备、变电站和站内各种设备设施的台账。

配电网中压设备设施台账数据库包括杆塔、架空线路、电缆设备、站所、变压器、开关等各种设备设施的台账。

配电网低压设备设施台账数据库包括杆塔、线路、低压设备设施的台账。

属性数据已经由生产管理系统收集完成，待空间数据收集完成之后，与生产管理系统相关数据建立关联即可。

4. 数据录入

数据录入工作主要包含全电网数据模型，可以输入各种电力设备。设备对象的录入包括几何数据录入和属性数据录入，如站类设备编辑录入、线路编辑录入、电缆辅助设置录入、同杆架设录等数据。

数据录入人员组织方式以地市为单位，制订详细的工作任务计划，积极组织组织技术人员进行数据采集、整理与录入核对工作，并不断补充完善生产设备台账、杆塔照片、地理接线图、全网图等图纸资料。

8.3.3 电网 GIS 总体功能框架

按照电网 GIS 平台的平台定位及各业务应用的需求进行抽象和设计，将电网 GIS 平台的总体功能架构划分为电网资源图形管理、空间信息服务、典型应用框架、高级应用及平台支撑应用五部分。根据功能类型将电网 GIS 平台的功能需求分为基础功能和高级功能两部分，其中基础功能为电网 GIS 平台的一期建设范围，高级功能作为电网 GIS 平台后续阶段建设内容。电网 GIS 空间信息服务平台功能架构如图 8-1 所示。

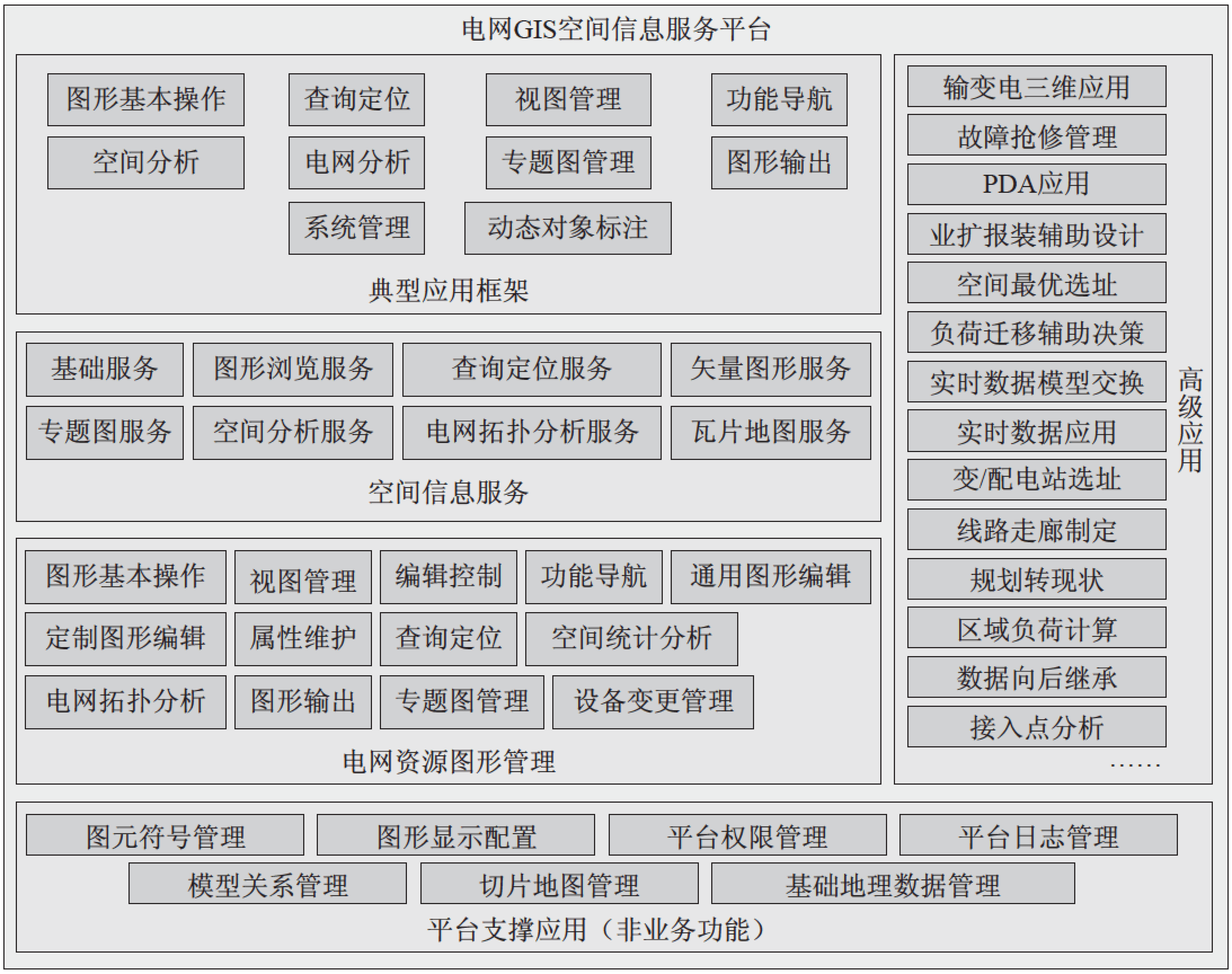


图 8-1　电网 GIS 空间信息服务平台功能架构

1. 电网资源图形管理

以 CS 方式为各业务应用提供各类电网资源的空间数据维护相关功能，主要包括通用图形编辑、定制图形编辑、资源属性维护、专题图管理、设备变更、空间统计分析、电网拓扑分析等功能。

2. 空间信息服务

电网 GIS 平台构建在 SG186 工程一体化平台之内，是为各类业务应用提供电网图形和分析服务的企业级电网空间信息服务，各业务应用可以通过 ESB（企业服务总线）调用电网空间信息服务。该部分提供的服务包括基础服务、图形浏览服务、查询定位服务、矢量图形服务、电网专题图服务、空间分析服务、电网拓扑分析服务、网片地图服务。

3. 典型应用框架

典型应用框架通过对空间信息服务进行封装，以 WebGIS 的方式为各业务提供典型 GIS 应用。典型应用框架可以嵌入各业务应用系统，并可以通过业务系统功能与典型应用框架进行交互；典型应用框架可以通过门户启动。典型应用框架应用功能包括电网资源查询定位、专题图查询、空间分析、电网拓扑分析、图形输出等功能。

4. GIS 高级应用

电网 GIS 平台的功能需求范围针对各专业与 GIS 相关的高级业务应用进行描述。高级应用不作为电网 GIS 平台的建设内容，但高级应用需要基于电网 GIS 平台进行构建。

5. 平台支撑应用

平台支撑应用包括对平台的模型关系管理、图元符号维护、图形显示样式管理、平台权限管理、平台日志管理、瓦片地图管理及基础地理数据管理等平台支持功能，为电网资源维护、空间信息服务、典型应用框架及 GIS 高级应用提供平台应用支撑。

8.3.4 电网 GIS 物联网系统主要应用功能

1. 生产专业系统主要应用功能

1）架空线路资源图形管理

架空线路资源图形管理主要包括主网架空线路建模、配网架空线路建模、低压架空线路建模三类。

（1）输电架空建模。主要实现对输电杆塔、导线、线路和杆塔附属设施等设备的

电网结构模型维护。

（2）配电架空建模。主要实现对配电导线、杆塔、柱上变压器、柱上断路器、柱上隔离开关、柱上负荷开关、柱上跌落式熔断器、重合器、附属设施等设备的电网结构模型维护。

（3）低压架空建模。主要实现对低压导线、低压杆塔、低压开关、刀闸等设备的电网结构模型维护。

2）电缆线路资源图形管理

电缆线路资源管理主要包括输电、配电、低压电缆线路设备的电网建模功能。电缆线路设备包括电缆段、电缆终端头、电缆中间接头、电缆分支箱、电缆线路辅助设施。

3）电源站室类资源图形管理

电源站室类资源管理主要对主网和配网的站房及站内设备进行图形建模管理，提供对站室类资源的各类建模操作功能。

（1）站房设备建模。主要提供对主网和配网中站房设备的建模功能，包括变电站、开关站、配电站、箱式变电站、环网柜、电缆分支箱等。

（2）站内设备建模。主要提供主网和配网中站室的一次接线图建模功能。变电站内一次设备主要包括主变压器、接地变、所用变、断路器、隔离开关、熔断器、母线、电抗器、电流互感器、电压互感器、组合互感器、电力电容器、耦合电容器、避雷器、消弧装置、组合电器、阻波器、故障指示器、站内电缆。配电站内一次设备包括配电变压器、所用变、母线、断路器、隔离开关、负荷开关、熔断器、电流互感器、电压互感器、电容器、避雷器、带电指示器、故障指示器、站内电缆。

变电站内二次压板图属于专业图形，不作为 GIS 中维护的图形，由专业系统进行维护。

4）地下管网设施图形管理

地下管网设施管理主要提供对隧道、电缆沟、检查井 / 工井、管道、电缆防火墙等公共设施的建模和维护。

5）电网图形管理辅助功能

电网图形辅助功能主要在电网结构的图形绘制完成后，提供一系列电气初始化的功能，使建模完成后的电网资源图形带上电气状态，具体的功能点包括开关置位、接地置位、电气拓扑初始化。

6）设备变更

可以选择变更的电网生产设备、设施范围，创建设备变更版本，并基于该版本进行设备变更编辑操作，对编辑操作进行保存、提交，审批通过后发布为运行版本，并对设备变更历史版本进行查询。

7）系统图

按照电气拓扑关系规则将地理电网接线图抽取生成横平竖直的逻辑系统图。系统图包括主网系统图、配网系统图；配网系统图包括系统详图和系统简图，系统详图包括电气接线图中的全部设备，系统简图包括电气接线图中的开关、变压器等主设备。

8）单线图

提供将地理电网接线图中的单条线路（馈线）转换成横平竖直的单线系统图。单线图包括主网单线图、配网单线图，配网单线图包括单线系统详图和单线系统简图，单线系统详图包括地理电气接线图中该线图的全部设备，单线系统简图包括地理电气接线图中该线路的主要设备。

9）单线地理沿布图

提供根据地理电网接线图中的单条线路（馈线）过滤出单线地理位置图，该图形基于地理电网接线图进行过滤显示，不独立存储数据。

10）线路相序图

根据线路杆塔中的相序信息，动态生成整条或局部线路的相序图。

11）线路断面图

根据线路路径走廊的地形信息（如等高线的高程值）、杆塔高、呼称高等信息生成线路断面图。此功能有效的前提是具有地形数据，并且杆塔需要具有高程信息。

12）电缆埋设剖面图

电缆埋设剖面图描述电缆埋设结构及电缆设施内部的穿线情况。

13）电缆井展开图

电缆井展开图描述电缆井内多个管沟的剖面、已经占用和未占用的管孔情况以及管中穿电缆的信息，并能够展示电缆井内多个沟管间的连接情况。

14）特殊区域图

提供对鸟害区、易污区、封冻区、污秽区等特殊区域图的管理功能，可以按特殊区域类型编辑、导入、查询各类特殊区域图，并可以基于特殊区域图对电网影响的设备进行分析。

15）雷电密度分布图

根据获取雷电统计分析数据，在空间地理图上直观展示雷电分布情况。

16）巡视路径图

基于地理电气接线图可以通过按顺序选择巡视设备、编辑巡视内容，生成巡视路径及巡视计划，并且可以对巡视路径进行查询。

17）电网分析

根据电网模型的拓扑关系、设备运行状态，基于电网地理图、站内接线图或系统图、单线图等专题图上进行各类电网拓扑分析。电网拓扑分析功能包括连通性分析、电源追溯、供/停电范围分析、供电半径分析、停电模拟分析、故障隔离分析、管网最短路径分析、电缆线路走廊分析。

2. 营销专业系统主要应用功能

1）营销图形资源维护

营销资源维护不仅包括用户（高压用户、中压用户和低压用户），还包括表箱、低压动力箱、低压分电箱、营业网点等营销资源的图形建模和属性维护功能。

2）模型校验

模型校验提供对电网模型中生产设备、设施的拓扑关系、连通性及属性数据关联的正确性分析功能。

3）查询定位统计

查询定位统计功能应用于各种图形中营销资源的查询定位。

4）营业网点分布图

营业网点分布图基于地图背景展示营销营业网点专题图，结合电力网络模型进行营业网点覆盖范围图形显示。

5）台区接线图

台区接线图从地理图中抽取台区供电的低压线路和设备信息，按台区接线图生成规则自动调整布局动态生成台区接线图，并且展示设备的基础资料，包括配变容量、导线长度、导线型号、导线截面、计量装置参数等。

6）停电区域分布图

停电区域分布图提供基于地理位置图、现实停电区域分布图维护及停电区域详细信息查询功能。

7）电网分析

电网分析根据电网模型的拓扑关系、设备运行状态分析设备的供电源、停/供电范围、拓扑连通性。

8）故障抢修应用

故障抢修应用提供对故障报修定位、故障区域分析、抢修路径分析功能，为故障抢修提供支持。

9）业扩报装辅助设计

业扩报装辅助设计实现报装方案生成功能。录入报装用户的关键信息，包括用户名称、报装地点、报装容量等，确定报装点。根据现有网架及配变的容量情况，自动搜索允许的电源接入点，并提供方案辅助编辑、设计功能，可以根据方案形成概预算。当方案经过施工送电后，可以将设计的电网接线转为运行态。

10）空间最优选址

空间最优选址根据负荷分布情况、负荷预测结果、营业网点分布情况及城市地理因素等信息分析需要建设营业网点的区域及推荐建设地点。

11）实时数据应用功能需求

实时数据应用功能需求通过实现在线（输电线路和配变）监测、SCADA、EMS、负控等实时信息的接入，在电网 GIS 平台的图形中展现电网设备的各种类实时信息。

3. 调度专业系统主要应用功能

1）电网模型交换

电网模型交换针对调度管理业务应用中需要电网模型信息的需求，通过 GIS 平台为

调度管理提供已经维护好的电网图形数据及电网拓扑数据，提供的图形主要包括全网图、单线图和变电站（配电站房）一次接线图，并可以根据调度系统提供的 SVG、CIM、E 语言等格式标准批量导入电网图形数据及电网拓扑数据。

2）实时数据应用

实时数据应用通过定时接收调度系统的电网实时数据，基于图形提供对实时信息进行展现、查询和分析功能。调度实时数据应用包括实时信息接入、实时信息展、实时状态展现三部分实时数据应用功能。

3）应急应用功能需求

（1）查询定位。提供应急相关资源基于地理图的查询定位功能。

（2）电网拓扑分析。多个应急资源地图定位，需要组合得到多个应急资源的空间集合，电网 GIS 平台可以根据多个应急资源的坐标数据快速计算得出累加后的空间范围。

4）专题图管理

专题图管理提供实时统计相关信息在地图上进行展现，按统计类型和统计时间对统计数据以专题符号显示方式在图上进行展现。

4. 电网规划应用功能需求

1）电网规划模型维护

电网规划模型包括对主网、配网、电厂、变电站及配电站房的电网设备、设施的规划设计内容。

2）模型校验

模型校验提供对电网规划模型中设备、设施的拓扑关系、连通性及属性数据的正确性分析功能。

3）规划图管理

规划图管理提供按时间维度的规划图创建、维护、查询等管理功能。

4）查询定位

查询定位功能应用于电网规划模型中设备、设施的查询定位。

5）电网分析

电网分析提供对电网规划相关的电网空间分析及拓扑分析功能，主要包括路径长度分析、线路跨越分析统计、区域线路长度统计等。

6）高级应用

高级应用提供与电网规划相关的一些高级应用功能。在这类应用中，GIS 主要提供基础数据及分析功能，为电网规划应用提供辅助分析决策依据。高级应用主要包括区域负荷数据计算和分析、线路走廊制定、数据向后继承和规划转现状、接入点分析、变/配电站选址定容等通信管理应用功能需求。

第 9 章

无线移动通信物联网工程技术与应用

无线移动通信技术基本概念、三网融合的感知与控制物联网系统平台技术、面向输变配用的传感网关键技术方法、面向电网安全监控与信息互动的信息处理技术方法、无线移动通信物联网示范工程应用案例是本章重点介绍的内容。

9.1 无线移动通信物联网工程技术基本原理

无线移动通信技术基本概念、三网融合的感知与控制联网系统平台、光纤通信技术概念及主要特点、多表合一集抄系统的关键网络技术是本节介绍的主要内容。

9.1.1 无线移动通信技术基本概念

1. 无线移动通信技术的基础知识

无线通信（Wireless Communication）是利用电磁波信号在自由空间中传播的特性进行信息交换的一种通信方式。在移动中实现的无线通信又称为移动通信，人们把两者合称为无线移动通信。有以下几种无线移动通信系统。

1）卫星移动通信系统

卫星移动通信系统最大的特点在于利用卫星通信多址传输的方式，为全球用户提供大范围、大跨度、远距离漫游、灵活地移动的通信服务，是陆地蜂窝移动通信系统的延伸，在偏远地区的通信方面有独特的优越性。

2）无线接入系统

无线接入系统主要是经过无线方式，在有线管道铺设十分困难，投资成本较大，电话用户密度较大的市区、郊区，或者是电话用户较为稀少的远郊区、农村等地区，提供了无线通信电话服务，作为有线电话网地延充、延伸。

3）无线寻呼系统

无线寻呼系统是当前发展十分迅速的移动通信系统之一。我国曾经是世界上的头号寻呼大国。无线寻呼系统除了传统的个人信息以外，还有大量的公共信息、专用信息。在现阶段，我们需要积极利用现有无线寻呼的网络，向规模经营、自动化、文字化、高速率等方式所发展。

4）公众陆地移动通信系统 FPLMTS

在现阶段，FPLMTS 集合各种移动通信系统的功能，用户只需要使用单一的移动终端设备，便可在全球任何地方获取和任何人的高质量移动通信服务，这就是个人

通信。

无线移动通信的技术按照不同工作场合、使用的要求，分为蜂房式移动通信、集群式移动通信、卫星式移动通信及无绳电话。和传统通信技术相比，其技术的移动性较强，网络结构十分复杂，通常是和卫星通信网、市话网、数据网进行连接的，对设备性能、频带的利用率要求较高，以确保各用户在通信系统中协调通信，互不干扰。

2. 1G 移动通信网络

1）1G 移动通信

1G 通信技术是一种仅限于语音通信的蜂窝式通信技术，产生于 20 世纪七八十年代。1G 通信技术具有很多制式，如 NMT、RTMI 等，各国采用的制式不同。1G 通信的每秒传输速率约为 2.4kb/s，传输速率较差，通话质量较差，缺乏保密性能，系统间互不兼容，容量较少，无法为用户提供较多的数据业务和自动漫游。

2）频分多址 FDMA 技术

1G 通信技术以模拟传输为主，采用 FDMA 技术和模拟技术，受传输带宽的影响较大，仅能在一定的区域内进行通信，不能在较远距离之间进行移动通信。FDMA 是频分多址技术，是模拟服务中最基本的技术，可以将无线蜂窝式通信分配频段分为 30 个信道，每个信道都能进行数字数据、语音通话和数字服务，具有分路方便、信道复用率较高等优点。

3. 2G 移动通信技术

1）2G 移动通信

2G 通信技术产生于 20 世纪 90 年代初期。2G 技术增强了用户通信的可移动性，使用户与设备实现分离，通信更加可靠、安全。2G 技术提供的数据业务包括电信业务、补充业务、增强业务及承载业务等。电信业务包括用户基本的紧急呼叫、短消息、电话及三类传真等。补充业务包括呼出呼入限制、呼叫等待等。增强业务包括广播话音业务、移动定位、语音群呼叫等。承载业务包括交替数据和语言、GPRS 业务和数据后接语音等。2G 通信技术的产生在一定程度上取代了 1G 通信技术，我国于 2001 年 12 月 31 日正式关闭了模拟移动网络系统，大力发展 2G 通信技术。

2）时分多址 TDMA 技术

2G 通信技术采用了 FDMA 技术和 TDMA 技术，是一种数字化蜂窝系统，保密性较强，频段较多，能为用户提供丰富的数据业务。TDMA 是时分多址技术，将时间分割成若干个周期性的帧，再将每个帧分割成若干个时隙，通过时隙向基站传输信号。基站向各个移动终端传输的信号都会在预定时隙中有序地进行传输，各个终端在规定的时隙对信号进行接收，就可以在合格信号内接收信号区。基站在满足同步、定时的基础上，保证各个时隙中所接收的各个移动终端信号之间互不干扰。TDMA 技术具有信道多路性、传输速率较高、传输开销较大等特点。

4. 3G 移动通信技术

1）3G 移动通信

与 1G 通信技术和 2G 通信技术相比，3G 通信技术的主要优势在于数据及声音的传输速度，并在传输快速的基础上为用户提供多种信息服务，使用户在全球范围内实现自动无缝漫游。3G 通信技术包括核心网、移动台、无线接入网和用户识别模块四个主要的功能子系统，创建全球化的立体通信网络，用户可以利用 3G 通信技术在任何时间、任何地方与其他人之间进行通信、交流，实现交互性、移动性和分布式的通信。3G 通信技术的语音质量较好，比前两代通信技术更具安全性，频谱的利用率达 2GHz，提高了有限带宽的利用率。3G 通信技术能为用户提供电视图像、高速数据和慢速图像等宽带业务。我国于 2009 年正式进入 3G 时代。3G 通信技术的产生和应用不仅为人们的日常生活提供便利，提高了人们的生活质量，也在一定程度上增长了我国 GDP，创造大量的就业概率，缓解了社会就业压力。

2）码分多址 CDMA 技术

3G 通信技术主要依赖于宽带 CDMA 技术，拓宽 3G 技术的运行带宽，增强信号传递的功能，容量较大，抗干扰能力更强，能够满足用户对现代化通信的高要求。CDMA 是码分多址技术，是在扩频通信数字技术的不断发展中逐渐兴起的。CDMA 技术的主要原理是扩频技术，使用一个带宽大于信号带宽的高速伪随机码对具有信号带宽的、需要传输的信息数据进行调制，扩展数据的原始信号带宽，再使用载波对其进行调制、传输。接收信号的接收端运用相同的高速伪随机码对所接收的数据进行处理，将信号数据的宽带转换成原始数据较窄的信号宽带。CDMA 技术极大地提高了带宽的使用率，具有保密性较高、容量较大、质量较高、抗干扰能力较强、兼容性较好的优点。

5. 4G 移动通信及分析

4G 通信的主要技术包括接入技术、阵列自适应智能天线技术和无线接口技术等，以 OFDM 技术为核心。其中，接入技术的抗干扰能力较强，阵列自适应智能天线技术具有性能高、成本低和小型化的特点，无线接口技术容量较大，成本较低。OFDM 是正交频分复用技术，是多载波调制技术的一种。该技术将信道分割成若干个正交子信号，将数据高速信号转换为低速、并行的子数据流，再调制到每个子信道中，实现数据传输。在带宽极窄的条件下，OFDM 也能实现数据传输，对窄带干扰和频率选择性衰落具有对抗作用，还能对信号波形间产生的干扰信号进行对抗，在衰落信道和多径环境中 OFDM 可以实现数据的高速传输。OFDM 技术具有的抗干扰性、抗噪声性和网络结构可扩展性等特点，可以为 4G 技术提供时延小、速率高的服务质量。在 4G 技术的支持下，移动通信产业朝着宽带化、智能化、高速化和数据化的方向发展。

6. 5G 移动无线通信技术

5G 移动通信技术作为概念性的技术在 2001 年由日本 NTT 公司提出，而我国 5G 概

念则是于 2012 年 8 月在中国国际通信大会上提出。5G 无线通信技术实际上就是无线互联网网络，这个技术将支持 OFDM（正交频分复用）、MC.CDMA（多载波码分多址）、LAS-CDMA（大区域同步码分多址）、UWB（超宽带）、NETWORK.LMDS（区域多点传输服务）和 IPv6（互联网协议）。事实上，IPv6 是 4G 和 5G 技术的基础协议。

5G 技术是一个完整的无线通信系统，没有任何限制，所以将 5G 称为真正无线世界或者世界级无线网（World wide Wireless Web，Wwww）。对于不同的无线电接入网（Radio Access Network，RAN），利用扁平化 IP 概念更容易使 5G 网络升级至一个单纳米核心网络。由于扁平化 IP，我们要更关注网络安全，因此 5G 网络运用纳米技术作为防护工具来保障网络安全。不可否认的是，扁平化 IP 网络的关键概念就是使 5G 可以兼容所有网络。为了满足使用者对即时数据应用的要求，无线运营商要试图转型到扁平化 IP 建设中。扁平化 IP 构架提供了一个能够通过象征性的名称来识别终端的方法，这种方法不像分层架构那样运用正常的 IP 地址，这种做法给移动网络运营商带来更多的利益。

5G 通信技术的研发，势必给通信行业带来新一代的革新。根据目前中国运营商的运营收入成分来看，大多集中于语音、SMS 服务上，所谓的高速数据服务还在一个相对缓慢的发展期，商业化的 4G 通信技术会有效地缓解运营商资本支出与收入不匹配的尴尬境遇。但是，随着网络的日益强大，用户对网络的要求也更高，5G 的研发与发展也被业内重视起来。

9.1.2 三网融合的感知与控制物联网系统平台

1. 三网融合的基本概念

三网融合，指的是将无线传感网络、因特网（Internet）、移动通信网这三种网络融合在一起。无线传感网络由随机分布的集成传感器、数据处理单元和通信模块的微小节点通过自组织的方式构成网络，借助于节点中内置的形式多样的传感器测量所在周边环境中的热、红外、声呐、雷达和地震波信号，从而探测包括温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分、移动物体的大小、速度和方向等众多物质现象。Internet 是一组全球信息资源的总汇。有一种说法认为，Internet 是由于许多小的网络（子网）互联而成的一个逻辑网，每个子网中连接着若干台计算机（主机）。Internet 以相互交流信息资源为目的，基于一些共同的协议，并通过许多路由器和公共互联网组成，它是一个信息资源和资源共享的集合。移动通信网，即利用第三代移动通信技术形成的网络。第三代移动通信技术（3rd-Generation，3G），是指支持高速数据传输的蜂窝移动通信技术。3G 服务能够同时传送声音及数据信息，速率一般在几百千比特每秒以上。

2. 系统的整体框架

系统通过融合物联网、Internet、移动通信网开发一个通用、方便、快捷的物联网感

知与控制平台。该平台允许用户随时随地访问系统，获取无线传感网络的监控数据，对无线传感网络进行反馈控制。

系统由无线传感网络、服务器、手持终端组成。无线传感网络包括采集节点、中继节点、汇集节点（SINK），完成监控数据的采集和反馈控制；服务器中的 Web 服务器和客户端浏览器组成 B/S 结构，Socket 服务器与手持终端组成 C/S 结构，两者都可以完成监控数据的显示、发起反馈控制等操作，手持终端可以采用 Android 平台。

系统可以划分为几个模块：无线传感器网络、数据服务器、Web 服务器（包括 Socket 服务器）以及手持终端。该平台既可以通过无线传感网络监测环境信息或设备状态，在手持终端或 Web 服务器等处获取得到的监测信息；也可以从手持终端或 Web 服务器等处，对无线传感网络进行反馈控制。

3. 系统的数据流

系统的数据流分为监控数据流和反馈数据流，下面介绍监控数据流以及反馈数据流的过程。

1）监控数据流

监控数据流如下：由无线传感网络的采集节点采集数据，将数据传送到汇集节点（可能会通过中继节点转发），然后由汇集节点将数据发送到数据服务器，数据服务器每隔一定的时间，将当前时间间隔内收到的数据打包后，发送到 Web 服务器，Web 服务器会将数据保存到数据库中，同时会向 Socket 服务器发送数据包，让手持终端也能够接收到即时数据并显示。

2）反馈数据流

反馈数据流如下：反馈可以由手持终端发起，也可由是浏览器端发起，所有反馈指令汇集到 Web 服务器（若是手持终端发起的反馈，先通过 Socket 服务器向 Web 服务器请求指令信息，然后手持终端选择反馈指令发送给 Web 服务器），最终由 Web 服务器在数据服务器通过 HTTP 向其反馈数据时，将所有反馈指令作为返回值发送给数据服务器，然后由数据服务器通过串口发送给汇集结点（Sink 节点），汇集节点通过无线模块发送反馈指令，采集节点收到反馈指令后，验证节点执行反馈操作。

4. 各个模块的设计

1）手持终端模块的设计

手持终端在这个系统中的作用，是让用户可以随时随地方便地访问系统，并可以完成获取监控数据、执行反馈控制等基本操作。

根据手持终端的功能，结合 Android 平台的特点，可以划分为几个相对独立子模块：与服务器通信模块，负责与 Socket 服务器通信，相当于一个 SocketClient；后台通信服务模块，负责控制与服务器的通信，并通过广播协调其余各个模块的运行；数据显示模块，负责即时显示各种数据信息；用户登入 / 登出模块，负责用户登入、登出服务器；

数据存储模块，负责存储接收到的数据信息；历史数据查询模块，负责给用户提供查询历史数据的功能；反馈控制模块，负责发起反馈控制。

各个模块间需要通过通信来相互协作，从而顺利地完成手持终端的各个功能的实现。手持终端的七个子模块紧密联系，其中最核心的模块是后台通信服务模块。它的作用相当于一个主控模块。

2）服务器的设计

基于三网融合的感知与控制物联网平台的服务器可以划分为 Web 服务器和数据服务器，其中 Web 服务器包括 Socket 服务器。

Web 服务器是系统的一个枢纽，其与数据服务器进行通信，并可以让用户通过浏览器端或是手持终端来访问系统，包括获取无线传感网络的监控数据、发起对无线传感网络的反馈控制；允许管理员通过浏览器端来管理系统，包括管理系统用户、数据库等。Web 服务器包括以下主要功能：与数据服务器通信，处理数据服务器发送的数据；汇集需要执行的反馈指令（来自浏览器端和手持终端），发送给数据服务器；数据库的管理和维护；将实时数据广播到各个网页端，并在页面绘出实时曲线图；控制 Socket 服务器，从而实现与手持终端数据交互；管理 Web 页面的用户交互。对应这些功能可以划分相应的 Web 服务器的模块。

数据服务器负责对无线传感网络收集的数据进行收集和处理，即接收无线传感网络中的汇集节点发来的温度数据，同时验证、解析并组织温度数据；同时，数据服务器也负责与 Web 服务器进行通信，即将温度数据打包发送至 Web 服务器，同时接收 Web 服务器发送的反馈指令，并发送到无线传感网络中的汇集节点。

3）无线传感网络模块的设计

无线传感网络由随机分布的集成了传感器、数据处理单元和通信模块的微小节点构成，借助于节点中内置的形式多样的传感器测量所在周边环境中的热、红外等信号，从而探测包括温度、湿度、光强度、加速度等众多我们感兴趣的物质现象。除了可以监测环境信息或设备状态，该无线传感网络也可以对节点进行反馈控制。

基于三网融合的感知与控制物联网平台的无线传感网络包括采集节点、汇集节点以及中继节点。采集节点采集数据，采集的数据通过无线网络传送到汇集节点，并通过汇集节点传送到数据服务器；同时汇集节点从数据服务器接收反馈信息，并通过无线网络将反馈信息传送到采集节点，采集节点验证反馈指令，然后执行反馈指令。中继节点可以根据设定，转发收到的特定无线网络数据，从而提高无线网络的覆盖范围。

5. 结论

通过三网融合构建了一个物联网平台，使用户可以方便、快捷地对无线传感网络进行监控和反馈控制。该系统通过无线传感网络采集数据和执行反馈控制，用户可以通过 Web 方式或是通过基于 Android 的手机平台访问系统，获取无线传感网络的监控数据，也可以对无线传感网络进行反馈控制。系统通过集成了无线通信、数据处理、传感器模

块的微小节点来获取数据、收集信息。这些微小节点体积小、易于安装，对环境要求很低，因此用它们来进行数据的采集十分方便。同时，因为尽可能简化了节点的处理，将来可以用更简单、低功耗的节点来代替现有的通用节点，以提高节点的工作时间。

9.1.3 光纤通信技术概念及主要特点

1. 光纤通信技术的基本概念

光纤通信通过光波导（方形或圆形，圆形为光纤）进行信号的传输，其中信号为光信号，而非传统的电信号或者微波。在进行信号的传输过程中，通过调制器以及光源来进行信号的调制，即调制器在电信号的作用下调节光源所发出光的初相位等光信息，以达到信息的加载。把加载了信息的光通过波导进行传输，传输中的光信号由于全反射被束缚在波导中，形成信号的长距离传输。信号到达目的地后，通过解调器把光信息转化为电信息。

随着通信技术应用领域日益广泛，通信服务内容愈加复杂，人们对于光纤通信技术的重视程度不断提高，很多领域都开始应用光纤通信技术，而且取得了很好的效果。例如，军事、电力通信以及民航设备数据传输等领域都应用光纤通信。因此，利用光纤技术提高通信质量与速度，成了目前通信领域广泛使用的方式。

2. 光纤的分类和规格

按光纤的制作材料划分，主要有石英光纤、玻璃光纤、塑料光纤以及氟化物光纤等。虽然塑料光纤成本低廉，耦合率较高，但是相应的损耗也很大，所以只适用于短距离通信，目前石英光纤在通信领域处于主导地位。按传输模式划分，主要有单模光纤和多模光纤两种。与单模光纤相比，多模光纤能够实现多种光束集合在一条电缆上。一般情况下，多模光纤的直径都比较大，大约在 60 ～ 80m，在 10Mb/s 的以太网中，多模光纤的传输距离可以达到 1800m，单模光纤中心的玻璃芯比较细，色散很弱，所以对于光源的稳定性要求很严格。从折射率分布情况划分，主要有阶跃型和渐变型两种。阶跃型光纤指的是纤芯的折射率大于包层的折射率，这样就实现了全反射，但是它的弊端比较明显，传输频带较窄，速率不高。渐变型光纤的折射率是从内到位依次降低的，能够显著提升传输距离，并且减少色散，但是成本较高。

3. 光纤通信技术的主要特点

1）频带很宽

由于光波频率高于电波频率，加上光纤在传输过程中的损耗明显低于电缆以及导波管，所以同样长度下，光纤的通信容量更大，使得传输带宽比铜线大很多。特别是单波长的光纤通信系统，由于设备自身原因，发挥不出带宽的优势，需要额外使用技术增大传输的容量，

典型的技术是波分复用能技术，从而发挥了光纤通信大容量和长距离传输的作用。

2）节约成本

任何一个行业，想要获得更大的效益，都必须考虑降低成本。对于通信而言，更需要侧重于节约运行成本。如今市场上损耗最低的光纤是石英光纤，理论上讲，如果以后研发出非石英光纤，而且它的损耗更低，也就说明可以通过改变光纤通信系统，降低损耗和施工成本，从而提高效益，而且玻璃是光纤的主要原材料，属于绝缘体，不会发生短路和回路的现象。

3）防止干扰

众所周知，石英的腐蚀性极低，并且绝缘，特别是不会轻易受到电磁干扰，外界环境的变化不会影响石英的性能，即使人为架设电缆，也不会干扰光纤通信的过程，所以石英在强电领域以及军事方面大有用武之地。

4）保密安全

过去使用电磁波进行信息传输时，常常容易出现信息泄露的情况，保密性很差。光信号在光纤中传播，不会发生串扰情况，保密性能优良，并且不会被截取，能够有效防止窃听。同时，光纤的直径很小，使得光缆的体积较小，作为传输通道的空间较小，能够缓解地下管道拥堵的弊端。光纤质量轻，比较柔软，在铺设的过程中十分方便。另外，制作光纤的材料丰富，使用时间长，稳定性好。

4. 光纤通信技术的具体应用

自从 20 世纪 80 年代之后，我国通信业飞速发展，光纤通信技术不断完善和升级，带动了宽带、语音和电力等业务的革新，尤其是功能齐全，优势明显，所以在各个领域都有了很好的应用。

1）广播电视中的应用

光纤通信技术的优点很多，能够传输大容量的数据，能够抗干扰，并且传输质量极高，材料来源丰富，铺设简单，成本较低，特别适合广播电视的需求。目前，光纤是广播电视信号的传输载体，并且初步形成了以光纤网络为基础的网络模式，覆盖整个广播电视领域，尤其是数字化电视节目的制作，高质量的视频和音频传输介质首选光纤，同时各个城市的数字电视以及数据信号依靠光纤通信技术实现了实时传输以及异地传输。广播电视网络的建设离不开光纤网络，也就是必须要以光纤网络为基础，因为光纤网络的光缆能够保证质量和传输效果，这样进行信号传输时，就能保证稳定和可靠。通过光纤传输系统，信号的质量不会失真，延迟效果也不明显，与卫星传送相比，受到的干扰更小。

2）军事战争中的应用

众所周知，世界各国正在利用高科技提高军队的战斗力。未来的战争不再是光靠武力和武器，更需要借助信息和科技，战争的胜负决定于是否掌握了先进的科技，是否能够应用信息技术为军事服务。换个角度讲，人类军事斗争的思想正在改变，相关的军事理论开始升级，信息战成为新世纪战争的主旋律，研发和利用与信息战相关的技术是大

势所趋。光纤通信技术作为目前最重要的信息技术，在军事战争中发挥着巨大作用。一方面，军事战争运用光纤通信，能够增大系统的容量，让信息的保密程度更高，防止被敌方窃听和截取，同时能够避免恶意干扰和破坏，这些优势都是传统的卫星通信和微波通信达不到的。另一方面，光纤通信技术在传输数据方面，能够满足宽频带的需求，设计人员可以在一条光缆里面铺设多条线路，实现数据的多路传输，这样能够减少光缆使用的数量，实现数据的高效传输，并且节约成本。自从光纤通信技术被研发出来以后，各国都十分重视，尤其是军事方面，加大了研发和应用的力度。目前，战略通信系统、防御通信系统以及反导通信系统，都已经应用光纤通信技术，同时卫星、鱼雷以及潜艇等军事装备都使用光纤通信技术进行联络。特别是在长距离和本地网等方面，光纤通信技术能够完全代替电缆，所以只有掌握先进的光纤通信技术，才能在军事战争中拔得头筹，抢占先机。

3）电力通信中的应用

目前，我国大部分地区的电力系统都进行了改造，将电力通信网络的主干线和接入网都变为光纤，这是因为光纤通信技术的优点完全符合电力系统的需求。如今在电力系统中，光纤通信网规模巨大，并且发展比较健全，比如语音和数据等业务的载体都是光纤，光纤通信技术在保证电网系统平稳运行的过程中发挥着不可或缺的作用，为人们的生产和生活提供了极大的便利。

4）干线传输中的应用

随着人们生活水平的不断提高，通信产业的规模不断扩大，在扩展的同时，对信号传输提出了更高的要求。光纤通信在应对复杂通信环境和通信业务时，能够游刃有余，成为通信传输的首选。我国长途干线光纤网络已经全面建成，以首都北京为中心，向周围辐射，并且纵横交错。随着通信行业的不断发展，基于光纤通信技术的干线传输网络一定会如雨后春笋般遍地开花，从而更好地为我国经济发展服务。

9.1.4 多表合一集抄系统的关键网络技术

1. 多表合一集抄系统的概念

按照美国联邦能源政策委员会对 AMI 的定义，AMI（Advanced Metering Infrastucture）是一个计量系统，它能够每小时或以更高频率记录客户的用电行为或其他参数，并通过通信网络将测量数据传送到中心。通信技术是实现“多表合一”的重要基础，决定了系统的工作原理，也影响着系统的运行效率和可靠性。在“多表合一”信息采集建设过程中，充分考虑技术条件、施工周期等，磨合解决电能表、水表、燃气表互联互通中遇到的困难，持续提升采集成功率及稳定性。

智能电能表作为智能电网高级量测体系的基础元件之一，是其中最重要的环节。智能电能表除了通常电能表的基本计量功能外，主要优势是可双向计量和远程通信，可实

时远程读取电压、电流等参数来实施用电管理。高级量测体系 AMI 主要由智能电能表、系统通信网络、家庭网络、计量数据管理系统、用户入口等组成，是一个用来测量、储存、分析和应用用户信息的网络和系统，完成用户侧和电网侧的双向互动，对用户侧的电压、电流、用电量等数据进行测量，实现远程监测、分时电价和需求侧管理等功能。

用电信息采集系统对客户的用电信息进行采集、处理和实时监控，系统具备用电信息的自动采集、电量费控、计量异常监测、用电分析和管理、智能用电设备的信息交互等功能。依托智能电能表应用和用电信息采集系统覆盖广泛的采集终端和通信资源，成功验证了电、水、气、热多表数据集中采集应用的技术可行性和应用有效性，带动水、气、电、热集采集抄，建设跨行业能源运行动态数据集成平台。

2. 关键网络技术

1）有无线通信技术

现场总线技术主要是 Mod-Bus、RS485、EarthNet、CAN、LonWorks。通常 EarthNet 是全双工的，其他都是半双工的；实现长距离抗干扰传输，Mod-Bus 靠的是高的模拟电压，其他靠的是差分信号。运用时应注意接口电路的布局布线和连接设计要到位。

无线通信技术，短距离通信主要是 2.4GHz 频段“跳频对码”的 ZigBee、BlueTooth、WiFi 和简易短距通信，移动通信包括 GPRS 或 CDMA 形式的 2G/3G/4G/LTE/5G，简易短距通信性价比高，3G/4G 通信连通性好，运用时应注意前端射频电路的布局布线和连接设计。

电力载波通信 PLC，有宽窄带、高低速、高低压之分，通常选用低压窄带高速 PLC 芯片或模块加以实现。运用时应注意接口驱动电路的布局布线和连接设计。

2）局部串行接口技术

有无线通信多以接口通信芯片或模块实现，涉及众多局部串行接口通信，主要是 UART、IIC、SPI、SDIO、USB 或 SAI/1-wires。SAI/1-wires 是一线接口，靠一根线供电和传输数据。一般，UART、SPI、SDIO 是全双工工作的，其他都是半双工的。USB 总线是差分传输的，有低、全、高的速度区别和批量、中断、同步传输等形式。这些总线基本上有主从之分。

3）嵌入式系统通信传输

采集器、集中器、计量表的数据传输，就是嵌入式网络应用通信系统的建立和实现，包括计量表的接口转换模块。ARM 处理器为核心的嵌入式网络通信关键是对所需有无线通信芯片或模块的驱动，即接口或外设的驱动程序设计。首先是局部串行接口的驱动，是一级驱动，然后是通过一级驱动操作的有无线通信芯片或模块，是二级驱动。驱动程序包括初始化配置和收发数据操作，收发数据有查询、中断和直接数据存储 DMA 等多种方式，通常以查询方式运行数据发送，以中断方式完成数据接收。

4）Web 网络系统通信传输

Web 网络传输的关键是浏览器或 App 与服务器之间的前后台通信通道畅通无阻。服务器 IP 地址、专用光纤等 IP 地址固定则很容易访问，IP 地址动态变化就会阻塞。可以选用“域名访问”通过一些代理解析服务，从而达到通信始终畅通，如“花生壳”动态解析服务。还需注意服务器的防火墙、路由等安全设置，开放对外公开的进出站接口规则的限制，外部访问请求及时进入就有保证了。另外，需注意服务器是否受虚拟专网 VPN、移动接入 APN 等相关限制，应该设法寻找并撤除存在的限制。

5）网络软件的层次结构

两种通用网络类型的架构体系分别为可以跨平台的 Java、J2EE、myEclipse、SSH、JSP 和针对 Windows 的 C#、.Net、VS、EF、ASP，都可以实现现代的 4-*N* 层简易实用网络软件系统。SSH 即 Strutrs、Spring 和 Hibernate，可靠高效，应用普遍，它含有传统 M（Mode）、V（View）、C（Controller）规划结构，Spring 整体调度管理，Hibernate 处理数据库等后台操作，Struts 处理前端页面交互访问。EF（Entity Fromwork）类似于 SSH。运用时要注意 SSH 框架并用时的冲突解决和 Struts 行为 Action 与传统 Serverlet 并用时的冲突解决。例如，同时引入基于 SSH 的 Geoserver 地图服务，Serverlet 实现的页面局部数据无闪烁更新。

6）数据的存储管理

数据表规划既要注意紧凑合理，又要注意相互关联，特别是数据表关联，定义其相互间的对应关系，如一对一、多对一、一对一，尽可能回避“多对多”。如果存在“多对多”，要设法拆分成“多对一”和“一对多”。关联并且合理，软件运行效率就会大大提高。嵌入式应用系统数据库应更紧凑小巧，如选用 SQLite 并按通信传输顺序排列数据表及其表列。针对基于已有分系集抄系统的整合集抄运用，应该充分利用各系的数据库服务器；相同非特别重要数据，公共服务器不存储，既避免公共资源重复存储浪费空间，又为以后大数据分布存储改造提升奠定了基础。

7）页面丰富完善技术

软件体系架构工具生成的页面基本上是静态的，需要进一步丰富完善，以增强可用性、灵活性、稳定性和满足用户眼球的高度奢求。可以通过 DIV+CSS 技术直接调整或运用 DreamWeaver/FontPage 傻瓜式获得所需的页面布局。可以选用 PhotoShop、Flash 制作动画或视频，并加入页面进一步丰富人机界面。可以使用 JavaScript、jQerry、Ajax、AS 等脚本语言完成验证、登录、音视频切换、地图 / 曲线显示、移动焦点行列突现等功能。可以通过 openLayer 加载 Geoserver 地理信息系统 GIS 实现地图指示。可以选用 jsCharts、highCharts、fusionCharts 等插件完成曲线柱图等查询分析图线指示。

8）电磁兼容应对与改进

“多表合一”集抄网络系统是基于计量表、采集器、集中器等诸多测控传输终端的信息管理系统，必须综合考虑这些测控传输终端及其连接通道的电磁兼容 EMC（Electro Magnetic Compatibility）应对和改造，确保可靠抄表传输成功率。电磁兼容应对和改造

的环节有连接、接地、电源、滤波、隔离、屏蔽、静电防护 ESD、雷电防护 ES 等，充分运用电阻 R 电感 L 电容 C 无源模拟滤波、RC 有源模拟滤波、软件数字滤波及其模拟仿真，注意集成电路 ASIC/ 电子模块选型和制作监测终端成品的 EMC 认证，把相关电子电路及其印刷电路板 PCB 设计制作的电磁兼容和抑制 EMS 切实落实到位。

9）软件设计成熟度考虑

“多表合一”集抄网络系统是一个综合性的测控信息软件管理系统，即互联网 + 四表集抄，蕴含“大数据 + 云计算 + 工业 4.0”，关系千家万户，方案规划设计阶段必须确定自身的软件成熟度（Capability Maturity Model Integration，CMMI）规格。五个 CMMI 能力等级分别为执行级、管理级、定义级、量化管理级、优化管理级，四表集抄网络软件系统起码是定义级出发、量化管理级要求、优化管理级追求；最好是量化管理级设计、优化管理级追求。

“多表合一”集抄，势在必行。互联网 +“多表合一”集抄的综合集抄体系网络架构，既兼顾现有各系集抄服务的现状，又具有大数据、云计算、工业 4.0 的公共服务扩展，还赶上了现代嵌入式网络硬软件通信技术与 Web 网络软件系统快速构造的高科技时代列车，在理论和实践不断丰富完善的基础上，一定能够迅速发展。

9.2　无线移动通信物联网工程技术方法

面向输变配用的传感网关键技术方法、传感网接入 TD 网关键技术研究与装置、面向电网安全监控与信息互动的信息处理技术方法是本节介绍的主要内容。

9.2.1　面向输变配用的传感网关键技术方法

在面向输变配用环节的多模式传感网体系中，应具备多种通信机制的自适应变化能力，具备不同网络拓扑和路由机制，在不同的通信流量条件下保持节点低功耗能力以及远程数据传输能力等。

1. 自适应流量变化的时空关联信道访问控制方法

1）背景及意义

在输电线路监控等野外无人值守应用中，应用环境恶劣，节点能源有限，要求网络具有自组织、自适应、自供电条件下长期工作的特点。同时，链式结构的传感器网络存在隐藏中断和暴露终端问题，还存在关键节点、链路的失效、瘫痪等问题，但输电线路监测应用提出了实时、可靠等性能要求，这些矛盾对链式结构的传感器网络介质访问控制机制（MAC）提出了严峻挑战。另外，应用数据具有周期性和非周期性共存的特征，

不同时期网络流量存在巨大差异，需要 MAC 协议能够自适应这种变化。为此，如何利用数据流时间上的差异和节点空间上的差异，实现数据的实时、低能耗传输是面临的主要问题。

MAC 是面向低占空比的异步 MAC 算法，无须同步，具有高灵活性；且其前导码中嵌入地址信息，使得非目的接收端可以根据这一地址信息快速休眠，防止了串音问题，降低了能耗，提高了资源利用率。但 X-MAC 不适用于高占空比网络，特别是簇型网络。

2）主要研究方法

针对应用特征和问题，算法的主要思想就是在不同的工作时期采用不同的 MAC 策略，对不同角色的节点采用不同的 MAC 配置参数。在此基础上，利用线型网络优化通信资源调度。结合应用数据特征，将网络工作周期划分为繁忙时期和空闲时期。在网络空闲时期所有节点都采用基于同步占空比 X-MAC 接入机制，并且簇首节点和簇成员节点采用不同的 MAC 参数，使簇首节点能够更及时地响应请求，从而在节省能量的同时满足系统对网络实时性的要求。在繁忙时期采用了流水线式的调度传输方法来解决隐藏终端问题。通过在网络不同时段采用不同的 MAC 层接入策略，使得算法可能节省能量消耗并满足网络的实时性要求。

在输电线路的应用中，紧急数据往往具有较高的优先级和更高的实时性要求，紧急数据往往是因监测到了反常事件的发生而产生的报警，这类数据都是上行数据（从普通节点到 sink 节点），在空闲时期下行数据主要有用户配置数据，用户查询数据这类数据也有一定的实时性要求，但相比紧急数据要宽松很多。为了使网络能够更有效地支持紧急数据，我们根据节点在网络中的地理位置，有次序地在 MAC 各节点唤醒，使上行数据有更好的实时性。

面向输电线路监测的网络在拓扑上具有线状、局部密集的特性。由于无线信道的共享特性，节点传输之间发生碰撞的可能性大，导致产生隐藏终端的可能性很大。采用 TDMA 的方式能够很好地避免这种碰撞，适合这种数据传输频繁冲突比较多的场景。在线性网络中，为了尽可能增加网络吞吐量，TDMA 的时隙分配应该采用流水线式的调度方式，因为传感器节点由于成本限制，数据接收缓存大小有限，流水线式的分配方式能够使接收到数据后尽快将数据转发出去，减少了因为节点缓存太小而造成丢包的可能，提高网络通信可靠性；流水线式的分配方式能够很好地减少拥塞的产生，提升网络的吞吐量。

3）结论

针对网络流量的动态性提出混合 MAC 接入协议，在繁忙时期采用 Pipelined TDMA 接入机制实现可靠的数据采集，在空闲时期采用同步 XMAC 协议实现低能耗，同时能够满足应用的实时性需求。利用输电线路监测应用中网络流量的特征，提出了同步 XMAC 协议，它不仅具有 XMAC 协议本身的优点，而且减少了前导码的发送长度，提高了数据传输的能量有效性。利用输电线路监测应用部署线性网络拓扑结构、局部密集的特性，提出了基于位置信息的唤醒时间调度算法，它能够进一步提高上行数据的实时性能，很好地契合输电线路监测的应用模式。

2. 面向非均匀分布传感器的低功耗分簇组网方法

1）背景及意义

在具体应用环境中，由于基础设施的布设方式，传感器网络呈现出线性的拓扑特点。大部分传感器部署在杆塔周围，它们的覆盖范围相互重叠，采用分簇算法能够将数据进行聚合，减少节点的信道接入次数，从而提升网络性能。采用分簇算法也可以达到既通过簇首来保证实时性，还使网络中大部分节点处于低能耗状态。因此，相对于平面路由，它不需要复杂的路由维护，具有可扩展性强的特点。

采用分簇算法后却存在能耗不均的问题，具体包括两方面：一是簇内能耗不均，同一个簇内簇首和其他簇成员要承担更多的数据处理、报文转发、网络维护的任务，需要消耗更多的能量；二是簇间能耗不均，在应用中线状无线传感器网络容易产生漏斗效应，越靠近汇聚节点的簇，消耗的能量越多。为了解决簇内能耗不均问题，提出了基于密集簇的分簇及簇首轮换算法来均衡簇间能耗，提出了面向非均匀分布传感器的低功耗分簇组网方法，设计了命名机制及其路由算法。

2）主要研究方法

（1）基于密集簇的分簇算法。

结合网络拓扑局部密集的特点，采用了一种基于密集簇的簇首轮换算法，只在同一个局部密集簇中选举簇首，能减少簇首选举的开销，轮换后不必进行进一步的网络拓扑管理。该方法主要分为密集簇构造、数据收集、簇首轮换三个阶段。

密集簇构造阶段：节点加入网络时利用信号的 RSSI 信息检测节点周围是否部署在塔杆周围，并将部署在塔杆上或者塔杆边缘的节点构成密集簇。

数据收集阶段：由簇首收集本簇内所有节点的传感器数据，并进行数据聚合等本地处理，以减少设备接入信道的次数，从而减少网络碰撞，随后簇首节点向汇聚中心转发数据。在这个阶段簇首也进行一次剩余能量信息广播，其他簇成员收集簇首能量信息以驱动簇首轮换程序。

簇首轮换阶段：主要有两种情况，即簇成员监测到簇首节点剩余能量低于某一阈值或者簇首失效簇成员连续多次未收到簇首发送的剩余能量更新报文，通过此方法延长网络的使用寿命。

（2）基于命名机制的路由选择算法。

算法不需要建立路由表，减少了路由维护的开销，根据各节点的地址就能找到下一跳合适的路由。节点地址被划分为三层，根据节点地址所包含的信息可以表示为 ERN、DENSESET、BASICADDR。其中 ERN 域表示节点所属的 ERN 节点的地址；DENSESET 域表示节点所隶属的密集簇地址，若节点不属于任何簇，则表示最近的密集簇地址；BASICADDR 域用来区分分布在密集簇周围的不同节点。

实验中发现网络的生存时间受漏斗效应的影响很明显，采用基于密集簇的簇首轮换算法后，仅需要通过在靠近汇聚节点的簇内增加相应的转发节点（不主动发送非周期性

数据），就能大大延长网络的生存时间。在实验中通过在原来每个簇六个节点的基础上增加相应的转发节点的结果，网络增加六个转发节点（增加了 9% 的节点数量）即将生存时间从 202.3 天延长至 293.4 天（延长了 45%），说明采用基于密集簇的簇首轮换算法后能够以较小的代价解决漏斗效应。

3）结论

利用输电线路监测应用中节点部署的特征，即局部密集部署在塔杆周围，提出了基于密集簇的分簇算法，算法本身具有分簇算法本身的特性，均衡了簇内能量消耗，网络维护开销小。利用输电线路监测应用部署网络拓扑结构线性、局部密集的特性，提出了基于命名机制的路由选择算法。这种基于地址命名的路由算法不需要建立路由表，路由维护开销低并且保证网络的连通性，提高了通信可靠性。

3. 基于电网设备安全监控特征的低功耗穿级采样方法

1）背景及意义

智能电网等复杂系统应用要求无线技术能够支持大规模的测控网络，大规模地导致了通信过程的巨大负担，尤其是无线传感器网络是能源受限系统，高数据率的周期性采集将导致电池能源的快速耗尽。针对周期性采样会产生冗余数据，采用非周期性采样方法，在满足误差容限的基础上假设采样频率小于数据率，权衡实时服务与采集能耗，在能量信息采集的过程中施加穿级采样算法。

2）主要研究方法

穿级采样（LCS）是非周期性的在信号穿越层级时进行采样保持的一类方法，早期是作为周期性采样的替代性方法，应用于数据压缩和 AD 转换中。LCS 方法实际囊括了基于事件采样、量级驱动采样、SOD 采样等一系列非周期性采样方法。LCS 非周期采样的特性本质上是传感数据的压缩，在通信系统中合理运用 LCS 方法，可以有效降低采样数据的传输率。由于无线传感器网络对于低功耗的需求，LCS 方法得到进一步的认识和研究。尤其是对稀疏信号的传输，运用 LCS 方法的数据获取与处理、能量管理、状态监测，可节约大量冗余信息耗费的无线传感网络资源。

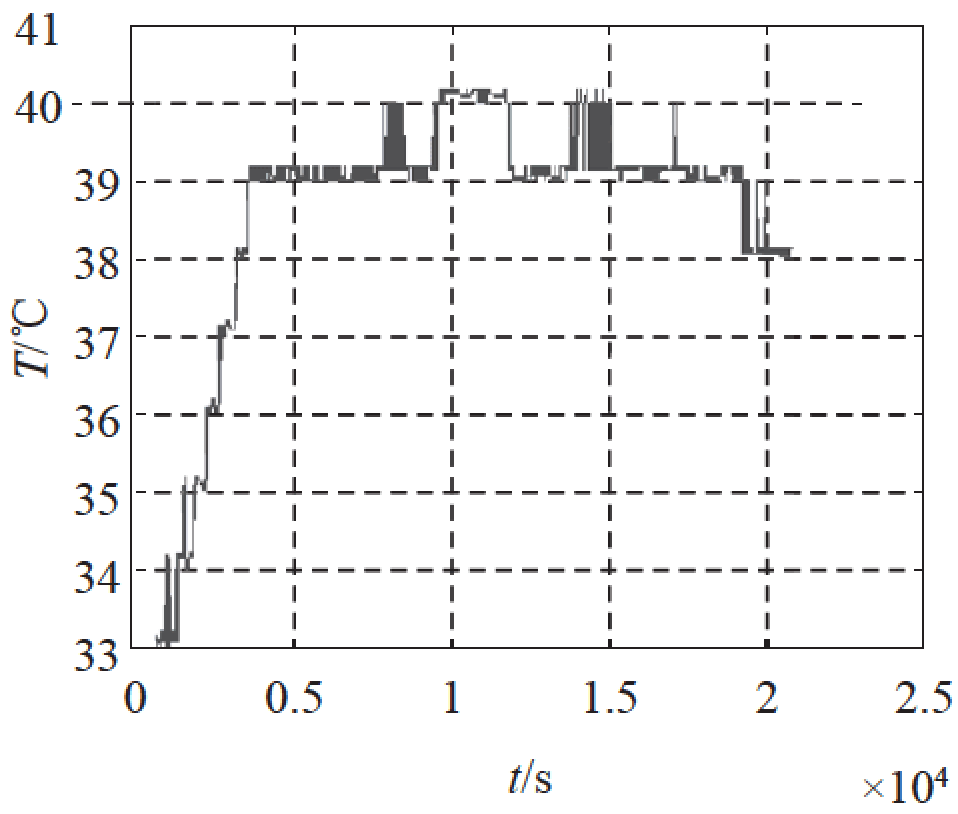
使用无线传感器穿级采样方法时，周期性采样和非周期采样的采样周期随着信号变化率的变化随之调整。

LCS 算法中采样频率小于数据率，由于直角三角形中斜率同直角边的关系，对信号容许区间进行层级划分的层级数量 M 对量化分辨率的影响很大；因此必须在保证采样数据误差精度的前提下，同时考虑传感器网络数据率和丢包率的情况，在此基础上，采用静态的层级分配方案，给出两种静态层级分配方案。

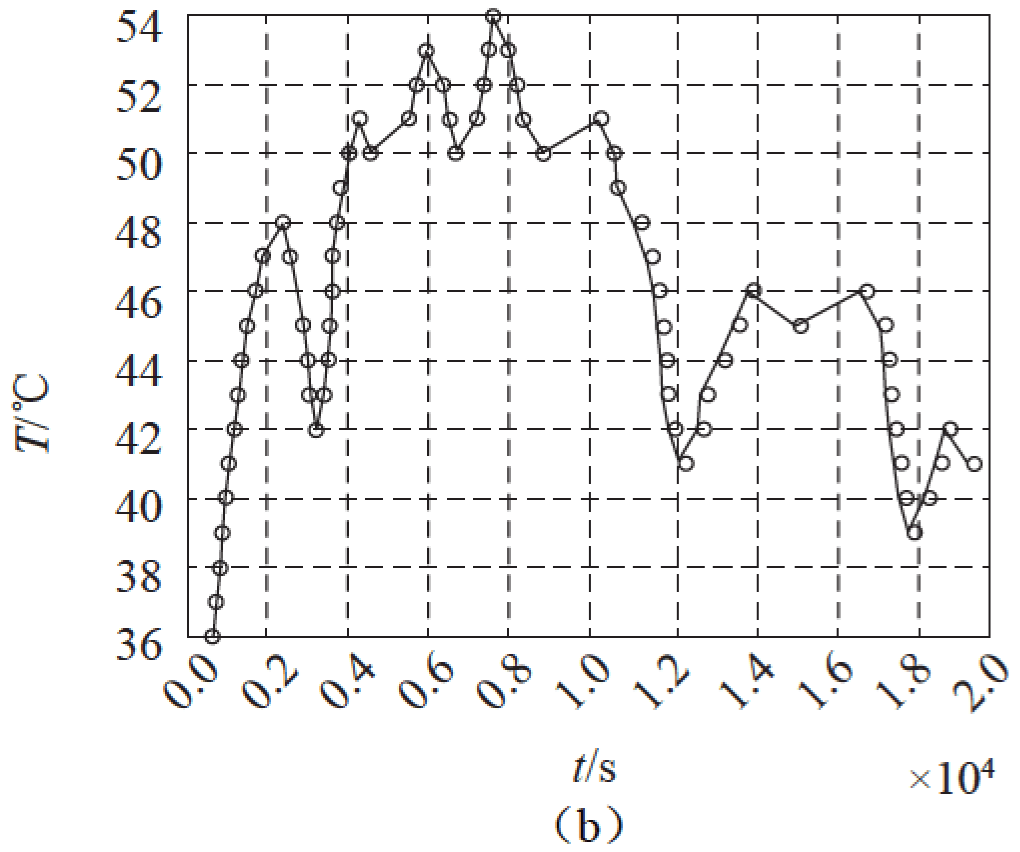
3）实验与结论

2016 年 8 月，在辽宁省沈阳市虎石台变电站，3 组共 45 个温度传感器节点被布置于变压器组、避雷器组、刀闸开关组、二氟化硫断路器组以及电流互感器等设备表面，用来测量设备表面温度数据。

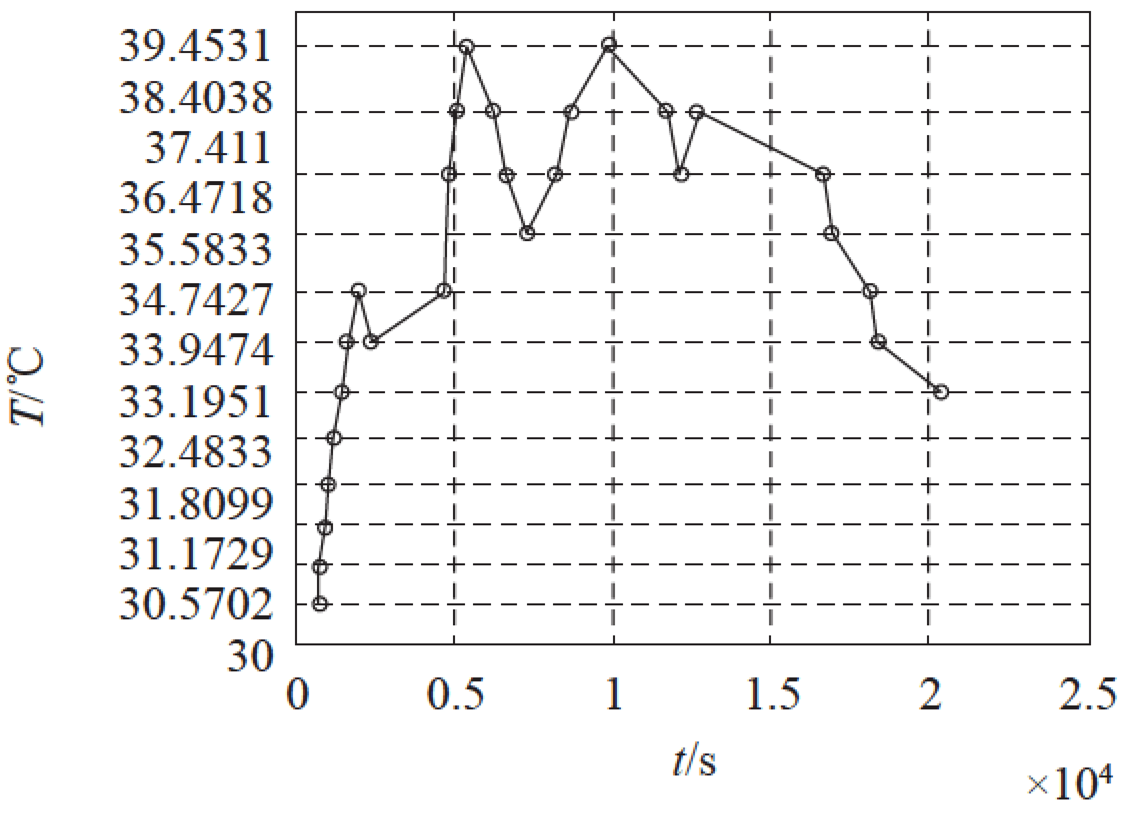
由图 9-1 可以看出，周期性采样样本 3600 ～ 7200s 一个小时内温度数据上下振幅不超过 0.5℃，大量的冗余的浮点型数据未经任何数据处理即被传送。相比之下，LCS 方法在误差容限内，压缩感知数据，能够满足实际需要。



（a）



（b）



（c）

图 9-1　温度数据采样样本

（a）温度数据周期性采样样本；（b）温度数据均匀分布 LCS 样本；（c）温度数据非均匀分布 LCS 样本

通过对接收成功率的分析，LCS 算法的可靠性略低于周期性采样算法。但在本次实验中，LCS 算法在接收发送上的功耗远低于周期性采样。这个结果实际上要求 LCS 算法在一定程度上需要一定数量的重传，以提高网络可靠性。

无线传感器网络周期性采集的低频稀疏数据中存在大量冗余数据，非周期穿级采样算法可降低冗余数据的传输次数以节省有限的网络资源。将无线传感器网络数据率、丢包率参数引入 LCS 算法，提出了一种可根据现场情况灵活划分并分配层级的新型 LCS 方法。层级数量 M 上限与数据率成正比，下限与接收成功率成反比。当数据率减小，或丢包率减少时，M 门限区间向坐标轴左方向移动；这有利于减少数据发送次数，以节约能量。实验表明，该方法灵活有效，具有推广价值，并有进一步研究的潜力。国际学者对 LCS 方法的研究表明：LCS 方法将会是无线传感器网络能耗管理、数据采集处理方面的替代性方法，具有深刻的学术意义和工程价值。

4. 面向大规模并发通信的低开销错时防冲突方法

1）背景及意义

电信息采集系统智能电网的重要组成部分，也是实现智能电网双向互动的重要基础，无线传感器网络技术是实现用电信息采集的主要技术手段之一。随着智能小区的发展，小区中住户数量的急剧增大，用电信息采集系统的网络规模也在加大。小区中一台集中器同时管理几百个无线节点，由于节点分布密集，当集中器集中读取数据时，存在网络中大量节点同时向集中器发送数据的情况。为解决节点在向集中器并发发送数据时造成冲突的问题，提出了一种低开销的大规模并发冲突避免机制。

2）主要研究方法

针对由大量终端节点组成的本地通信网络，为尽量避免通信冲突，提高终端节点和集中器间的通信可靠性，基于分层的思想，在逻辑上将一个大规模的无线传感器网络划分为多个层次，降低每个层次上节点的规模，从而达到降低通信冲突的目的。网络层次的划分通过基于分层策略的自主组网方式实现。

在本地通信网络中，由集中器发起整个网络的路由建立过程。T_0 时刻，集中器首先向网络中发送路由建立请求。与集中器相邻的节点首先接收到该路由建立请求，这些节点首先将集中器作为自身的父节点记录在本地的路由表中。等待固定的时间间隔 T_1 后，这些节点将在固定的时间间隔 T_1 内向集中器发送路由建立响应。

T_1 时刻到时，所有第一层的节点均建立了与集中器的路由。然后，这些节点将在固定的时间 T_2 内继续向网络中的其他节点转发集中器的路由建立请求。在 T_2 时间内，与 HS(1) 临近的节点如果接收到该转发的路由请求，则记录转发该路由请求的节点地址，并从处于 HS(1) 节点中选择一个作为自身的父节点。

等待固定的时间间隔 T_2 后，这些节点将在固定的时间间隔 T_3 内，通过其父节点向集中器发送路由建立响应。同样，集中器在路由表中记录这些节点的地址，并将其记录其孙子节点。

3）实验与结论

随着邻居交换周期的缩短，信道利用率变化迅速提高，同时冲突概率也急剧增大。当交换周期为 3s 时，信道利用率超过了 100%，利用 ODB 跟踪仿真过程观察到网络节点有冲突。当周期大于 10s 时，网络没有冲突。在实际选择邻居交换周期时，需考虑节点位置带来的影响。当节点布局比较密集时，应适当增大邻居交换周期；相反应减小邻居交换周期以达到满意的性能指标。

9.2.2　传感网接入 TD 网关键技术研究与装置

1. 宽带无线系统安全防护设计

1）数据中心划分

为了满足电力二次设备防护要求，电力数据中心需要将不同业务数据服务器、网管服务器等分区放置。由于各类业务在无线采集系统上共网传输，如果按照配电二次系统典型防护方案部署将配电自动化和负荷控制管理系统放置在生产控制大区，其余两个业务系统放置在管理信息大区，存在纵向交叉的可能，两大区隔离强度不够。因此，按照安全防护原则中的说明，“允许把属于低安全等级区域的业务系统或其功能模块放置于高安全等级区域”，将生产控制大区划分为控制区和非控制区。配电自动化和负荷控制管理划分到实时性高的控制区，用户集中抄表系统和输电线路在线检测管理系统从安全等级低的管理信息大区提到生产控制大区的非控制区，同一线路传输四项业务的数据，在线路上进行逻辑隔离，到数据中心后由路由器分发给各自的服务器。

宽带无线接入系统网管部分放置在管理信息大区，这个区和生产控制大区之间的通信正反向各自采用横向单向隔离装置进行高强度安全隔离。对 BTS、终端的管理都是由 EMS 和 BTS 通信完成，而 EMS 和 BTS 之间采用 UDP，符合两个大区数据传输采用 TCP/IP 协议簇的要求。通过网管 HLR 为不同逻辑区下辖宽带无线终端分配带宽大小、划分不同优先级，保证实时性要求高的业务及时传输，非实时性业务的数据可靠到达。此外，网管中还设计了专门用来管理宽带无线终端的远程管理模块。

2）业务层逻辑隔离

基站通过一个网口和网络侧的数据中心连接，负责将基站覆盖区宽带无线终端上来的数据汇聚起来输出，并接收网络侧下发的数据。另外，该基站以及覆盖区的管理消息也通过此网口输入输出。多种业务和网管消息共用一个物理网口混合传输时，存在不同业务间、网管和业务间越界访问风险以及某一业务向其他业务发送广播包造成广播风暴的问题，所以必须在各业务间采用逻辑隔离措施。VLAN 就是一种可进行逻辑隔离的技术。

VLAN（Virtual Local Area Network）是指在交换局域网的基础上，采用网络管理软件构建的可跨越不同网段、不同网络的端到端的逻辑网络。在交换机上由 VLAN 生

成的逻辑上的交换机互不相通，不同 VLAN 间通信时需要路由器进行中继。交换机通过一个接口和路由器连接，负责多个不同 VLAN 的通信转发，此端口称为汇聚链接口（Trunk Link），从这个端口流通的数据帧会按照 IEEE802.1Q 和 ISL 协议被打上属于哪个 VLAN 的标签。

宽带无线接入系统首先定义了 VLAN 组号（VLAN Group），作为 VLAN 划分的中间转换，在归属位置寄存器（HLR）上一方面为每个基站建立 VLAN Group 和 VLAN ID 的映射表，并在宽带无线终端开户时要选定 VLAN Group。当基站开机注册到核心网时，EMS 从 HLR 中提取该基站的 VLAN Group 和 VLAN ID 映射表下发到该基站中保存。终端注册时则会通过 EMS 获取 HLR 上包括 VLAN Group 在内的终端管理数据，并更新终端登录基站的用户数据表，包括终端的 PID、VLAN Group。

通过以上步骤，承担不同业务数据的终端由同一个基站进行数据汇聚，共用同一个网口传输到生产控制大区。但是由于采用了 VLAN 技术，不同业务之间不能直接通信，达到了逻辑隔离作用。对基站和终端的管理消息在 EMS 和基站之间采用 UDP，可以单独定义各 VLAN 和业务 VLAN 隔离。

3）终端管理的安全设计

宽带无线终端远程管理平台安全性从验证、授权、审核三个方面考虑，主要做了管理权限划分、管理人员登录密码验证以及操作的日志记录设计。

本地配置管理工具通过 USB 或者网口访问终端时，需要通过用户名和密码登录，用户名和密码由宽带无线终端综合管理平台下发到终端内部保存、更新。为保证终端访问的安全性，综合管理平台在下发用户和密码时，密码经过加密后下发。只有当前合法用户才能通过本地配置管理工具访问终端进行操作。

2. 电力传感网双模接入终端

随着未来分布式电源接入 380V 和 10kV 电网，大量的低压电网变成了有源电网，里面的电网结构互联互通，形成“手拉手”。电力的成双向性对电网的信息采集、运行方式、保护装置、控制系统等都提出了新要求。电力系统涵盖发、输、配、变、用及调度各个环节，每个环节各种业务都需要借助 WSN 来进行信息采集，如用电环节的抄表业务以及输电环节的高压输电线路在线监测业务等。由于宽带无线通信网络技术标准的多样化，WSN 与宽带无线通信网络之间的连接需要专门的接入终端作为 WSN 与宽带无线通信网络的网关，完成两种通信网络之间的数据交换。基于电力系统业务的特殊性，为了保证信息传输的可靠性，对于接入终端的要求就非常高。

1）双模接入终端硬件

双模接入终端在正常应用时，需要可靠保证以下功能。

（1）作为电力 WSN 的接入网关，将通过 WSN 网络采集的信息，全部存储至双模接入终端。

（2）将双模接入终端里存储的数据通过 McWiLL 或 TD-SCDMA 网络传输至相应

的电力系统业务应用系统主站。

（3）在双模接入终端内部完成数据报文，在不同网络进行传输时的解析与封装。

（4）双模接入终端应具备安全功能，以保证通信网络与数据传输的安全性、可靠性。

鉴于以上功能，终端在设计时必备以下模块，即性能强大的主控制器模块、大容量的存储模块、丰富的外围接口、与各通信技术相对应的通信模块、可靠性较高的安全模块，以及电源等其他辅助模块。在对硬件进行总体设计时，按照功能需求将双模接入终端划分为若干个功能模块，包括主控制器模块、存储模块、外围接口模块、TD-SCDMA 模块、McWiLL 模块、WSN 模块、安全模块，以及人机交互模块、看门狗、电源模块等辅助模块，然后依次设计各个模块，最后将各模块组织起来。

2）双模接入终端软件

设计时以功能实用性为主导思想，以安全性为基本要求，遵循模块化设计思想，从提高内聚性、降低耦合性出发，在嵌入式 Linux 平台上设计软件的各个功能模块。

双模接入终端作为通信网络设备，实现 WSN 与宽带无线通信网络的互连，主要实现网络传输层功能，包含三个方面：电力系统业务数据采集网络的数据采集、电力系统业务主站与数据采集网络之间的数据交互和对自身的控制、管理、维护。双模接入终端的软件共分为四大模块：通信接口模块，通信管理模块，应用层报文解析模块，终端控制、管理、维护模块。其中通信接口模块由 WSN 接口驱动模块、McWiLL 接口驱动模块、TD-SCDMA 接口驱动模块组成；通信管理模块由 WSN 通信管理模块、McWiLL 网络通信管理模块、TD-SCDMA 网络通信管理模块组成；应用层报文解析封装模块由上层通信报文解析封装模块、下层通信报文解析封装模块组成；终端控制管理维护模块由电力系统业务主站命令执行模块、安全管理模块、看门狗模块组成。

9.2.3　面向电网安全监控与信息互动的智能传感装置

1. 输电环节装置与系统开发

1）线路温度监测装置

架空输电线路在运行中导线温度受导线电流、日照、风速和环境温度等多方面因素影响。导线温度过高不仅会引起导线和金具的变形和疲劳，而且容易造成导线弧垂过大，与周围物体的净空距离减小，甚至接触发生短路接地事故。我国《110 ～ 500kV 架空输电线路设计技术规程》（DL/T5092—1999）中规定钢芯铝绞线的允许温度为 70℃。然而，导线电流、日照、风速和环境温度都是随时间变化的函数，尤其是风速的变化更是瞬态万千，所以架空导线的平均温度也是随导线电流、环境条件的变化而随时改变。

输电线路温度监测装置基于以上原理，通过实时监测导线温度进行导线预期温度、导线预期电流和负荷、导线弧垂的估测，在不突破导线最高允许温度和最小净空距离的

前提下，充分发挥输电线路潜在的输送容量，实时监控架空输电线路的运行状况。

（1）硬件构成。

输电线路球型温度监测装置的设计主要由微处理器模块、存储模块、温度传感模块、感应线圈、稳压电路、无线通信模块几个部分组成，组成结构如图 9-2 所示。

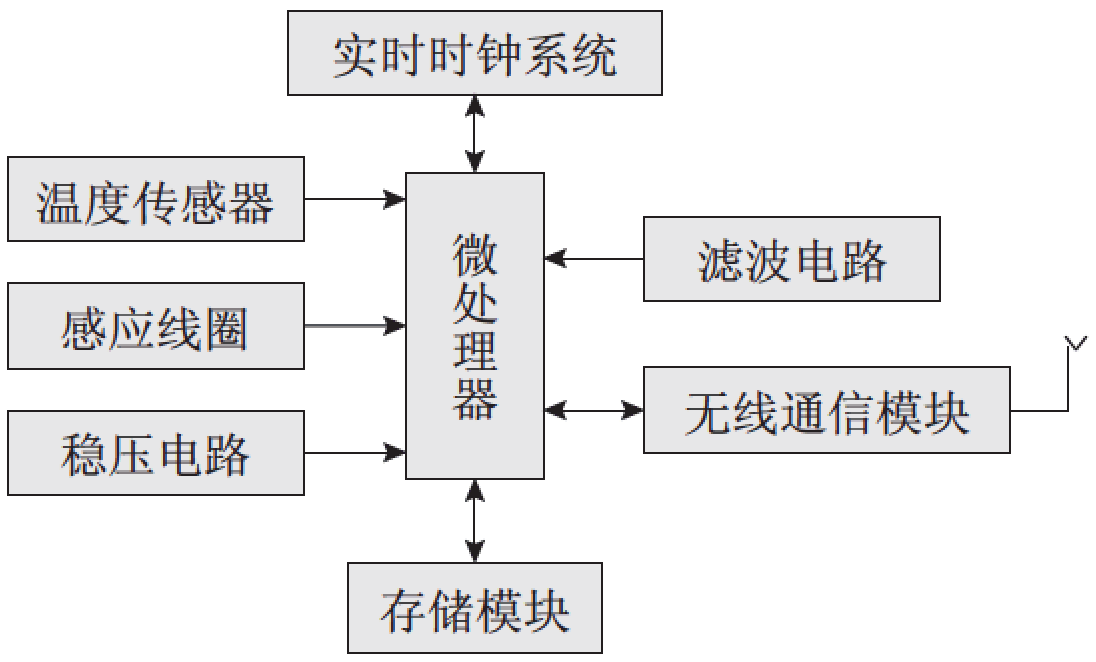


图 9-2　线路温度监测装置组成结构框图

装置设计中温度传感器采用美国 Dallas 公司生产的线缆式 DS18B20 型数字温度传感器，直接输出数字信号。鉴于线路温度监测装置安装于 220 ～ 500kV 输电线路上，工作环境为高电压、大电流，强电磁干扰，设计电路时在传感器的供电端与数据端口分别增加了稳压电路与电容滤波电路。为了提高温度测量的精度，减小误差，在线路温度监测装置中设计两个采样端口，即设计两个温度传感器同时进行数据采样，微处理器综合两个采样端口采集的温度数据进行数据处理，获得采样温度数据。

鉴于输电线路高电压、大电流的特性，装置设计中选择感应取电方式获取线路温度监测装置工作电源。感应线圈以电磁感应方式从输电线路导线上获取电能输出 24V 交流电压，经过整流稳压电路整流稳压后，稳定输出 12V 直流电能。12V 直流电能再经过电源模块降压、稳压为微处理器、温度传感器与无线通信模块提供稳定的 5V 与 3.3V 电源。整流稳压电路设计中主要采用整流二极管与稳压管搭建桥式整流电路，同时在电路设计增加了水泥电阻与稳压管等稳压器件，防止线路电压电流突变造成温度采集模块电路板击穿。

装置在结构设计上采用球型外壳封装结构，不仅能够最大限度地减小输电导线上的空气阻力，而且可避免线路上产生尖峰放电与电晕现象。防护等级 IP68，符合工业应用标准，适合应用于恶劣的自然环境下。装置内外延传感器探头采用双层屏蔽线包裹，保证采集信号的完整性。研制过程中设计了半开合式球型结构，安装时将球型装置上半球打开，取出感应线圈上半部分，将温度传感器夹具固定到导线上，使导线与传感器紧密接触，把感应线圈插入槽内，与下端感应线圈构成闭合式回环，扣上球体即可。安装后导线从球体线槽内穿过，安装灵活方便，工作量低，球型线路测温装置。

（2）软件设计。

线路温度监测装置的软件部分主要包括传感器数据采集模块、数据处理模块、数据

存储模块、报警程序和无线通信模块，以及远程参数更新模块。

传感器数据采集模块主要包括 DS18B20 的驱动程序，控制温度传感器进行温度数据采集，并将采集的数据放入端口函数；数据处理模块调用数据采集程序端口提供的温度数据，进行数据修正与计算分析，判断导线温度是否达到或已超过初始设定阈值 70℃。若导线温度达到或超过 70℃，线路温度监测装置发出预警信号。微处理器将计算分析后的温度数据存储在存储模块，无线通信模块主要承载 WIA 无线通信协议以及数据接口协议，实现装置的无线通信功能。远程参数更新程序主要是根据示范要求，实现报警阈值与采样周期的远程配置。

软件模块在系统初始化后，微处理器定时驱动温度传感器采集温度数据，并对采集的两组温度数据进行差值计算。当两组温度数据差值较大时，微处理器认为采集数据不准确，需要进行再次验证。因此再次驱动温度传感器进行温度数据采集，以确定采样值的真实性。微处理器进行数据的分析判断时，以同采样周期内数值较大的温度值作为判断预警的依据，并将两组数据同时通过无线通信模块发送至上层数据集中网关，传送至后台服务器。

软件设计中设定线路温度监测装置采样周期设置为两分钟（实际使用中可根据需求调整采集周期），初始阈值设定为 70℃，每两分钟采集一次温度数据并通过无线通信模块发送至监测中心，线路导线温度监测装置支持监控中心问询与参数设置。

2）输电线路监测系统网关

输电线路监测系统网关安装于杆塔横担上，收集系统内无线网络节点上传的数据信息，对整个无线传感器网络进行配置和管理。鉴于输电线路高电压大电流的特性，设计中不仅要考虑监测系统网关具有良好的电气特性，而且要有多个数据接口以方便调试和数据传送。鉴于输电线路高电压、大电流的特性以及输电线路铁塔上恶劣的自然环境，监测系统网关安装于输电杆塔上的主控制箱内，与外部完全电气隔离，通过箱体侧面防雨罩内小孔引出天线延长线，与网络内的节点通信互连。

（1）硬件设计。

在输电线路监测系统网关的设计中以 AT91RM9200 为内核，外扩了 32MB DataFlash、128MB SDRAM、4MB SRAM，增加了网关的存储量。设计了 RS-232 通信接口与 RS-485 通信接口、10M/100Mb/s 自适应以太网接口方便系统调试以及数据和控制命令的中转传输。选取 12Mb/s 与 32Kb/s 晶体振荡器为时钟芯片，为内核提供时钟信号，选取 25Mb/s 晶体振荡器为以太网端口物理层控制器提供时钟信号。监测系统网关内置了 WIA 无线模块作为射频模块，外设了 POWER、RADIO、GPRS、STATE1、STATE2 状态指示灯，通过微处理器 I/O 端口驱动来指示网关的运行状态，硬件结构如图 9-3 所示。

RS-485 接口可接入 RS-485 总线。设计中能够达到 2000V 的电压隔离特性，RS-485 接口采用标准的 2ERJ-3L 连接器，分别接入 485+、485- 和 485_GND。

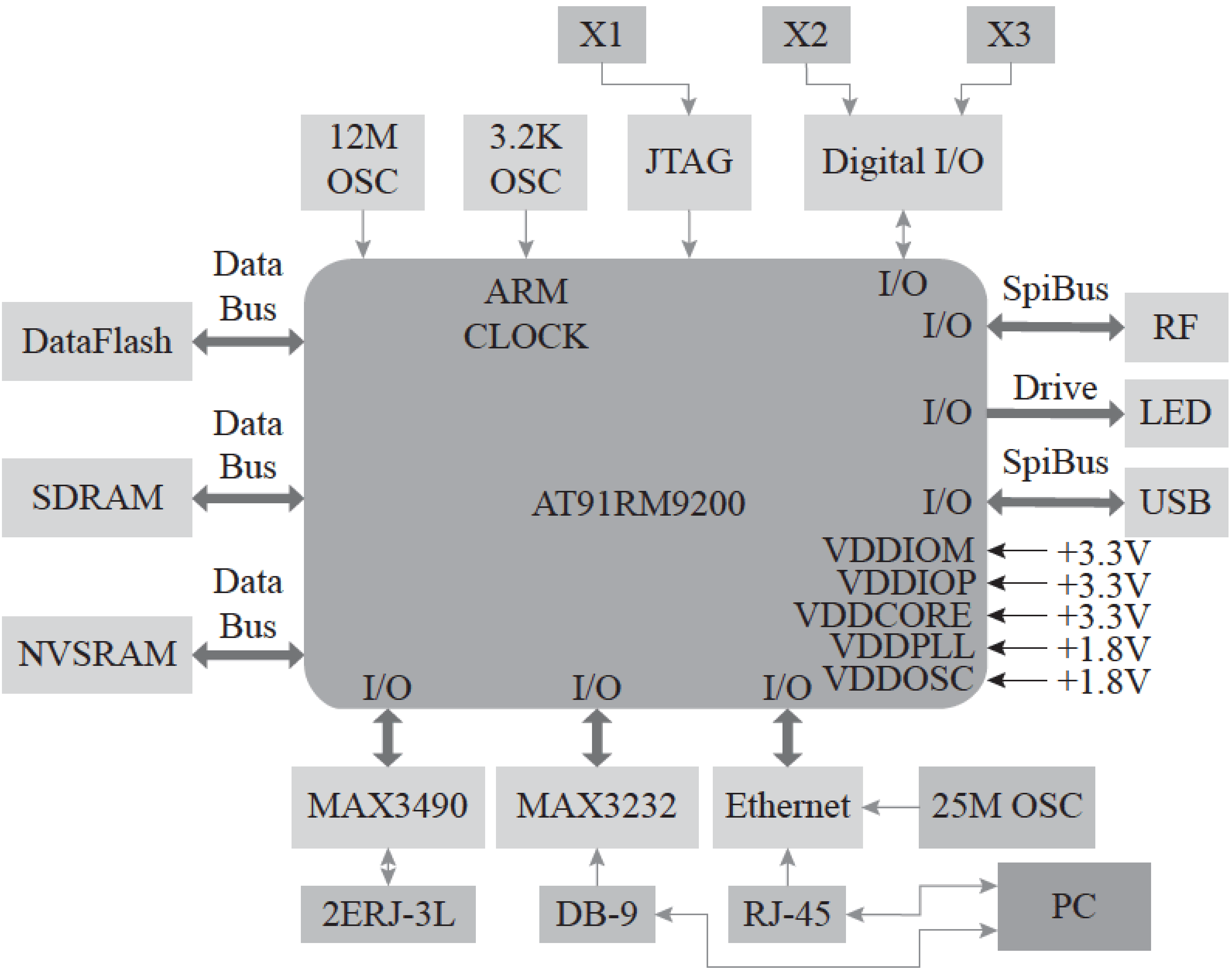


图 9-3 数据集中网关硬件结构图

电源部分的设计采用 12V 工作电源，主要来源于塔上太阳能与蓄电池供电装置。内部经过 DC/DC 电压转换芯片 LM2576_5V、AMS1117_3.3V、AMS1117_1.8V，分别输出 5V、3.3V 及 1.8V 电压。网关设计中选取了 TI 公司生产的具有 500mA 双路输出能力、200V 的 ESD 电压保护功能的 TPS2042 器件，以及松下公司生产的 LM2576，AMS 公司生产的 AMS1117。电源外部接口采用标准的 2ERJ-3 连接器，工作电源电压为 12V。

输电线路系统监测网关在设计中以 IMP809 作为复位控制芯片，以 20pin-JTAG 接口为调试接口增设了复位电路以及调试接口。

（2）软件设计。

输电线路系统监测网关以模块化设计思想将系统软件划分为串口通信模块、管理模块、无线通信模块、协议转换模块 4 部分，如图 9-4 所示。

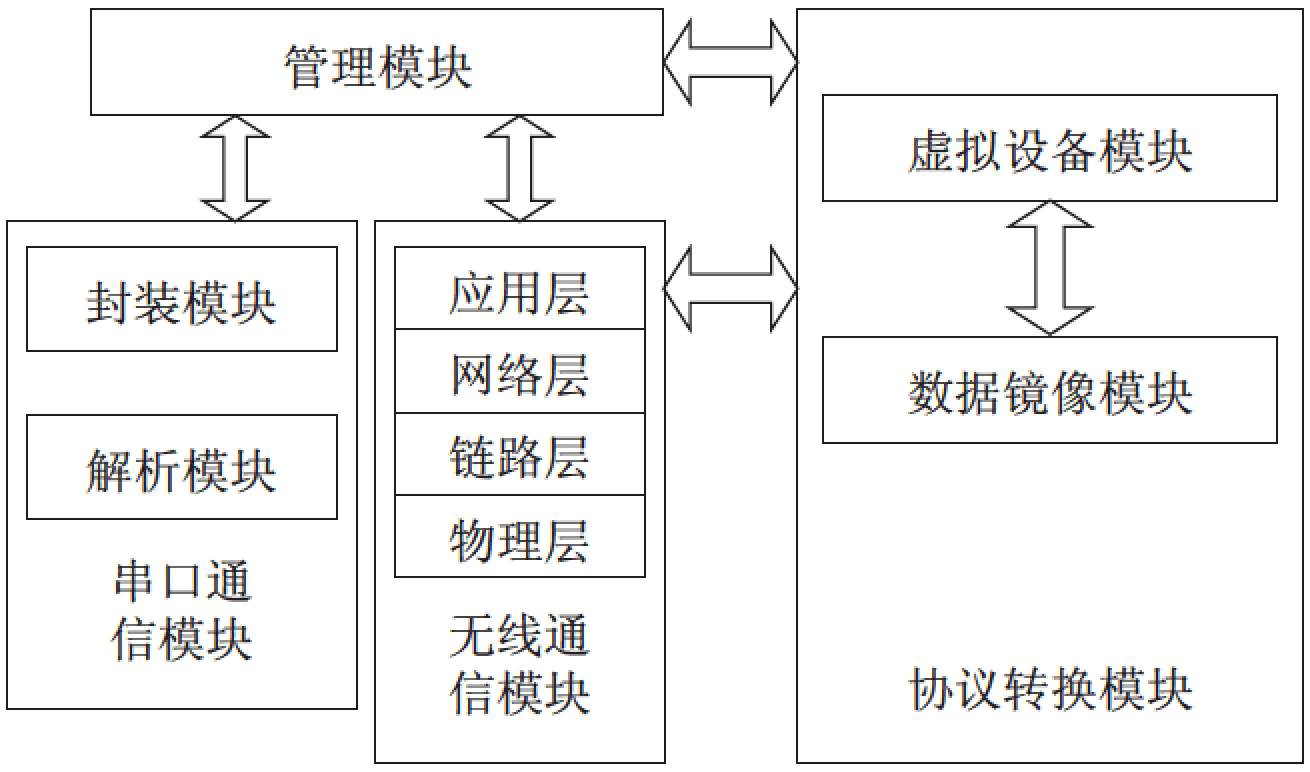


图 9-4 系统软件结构框图

管理模块是软件的核心环节，主要功能如下：管理设备的物理属性以及通信、组网过程相关的属性，如设备的入网及离网、路由配置、通信资源配置；负责管理网络安全相关属性；为网络中的所有设备维护响应的信息库资源信息，使其模块化使用，网络管理器增加、更新或者删除信息库中资源时，实时更新信息库。系统工作中，管理模块判断消息队列有消息时首先进行安全验证，验证通过后解析报文内容，判断报文为命令报文还是响应报文，进行下一步相应的处理。

软件设计中的串口通信模块主要包括封装和解析两个子模块，对应于硬件设计中的外部接口。串口发送报文时首先要经过 CRC 计算，并通过报文格式进行封装。串口接收报文时需要进行报文解析以及 CRC 校验。

无线通信模块主要由协议栈各层组成，分为物理层、数据链路层、网络层和应用层。各层通过服务器接入点进行通信，大多数层由数据实体接口和管理实体接口组成。数据实体接口是向上层提供所需的数据服务；管理实体接口向上层提供内部层参数配置和管理服务。

协议转换模块包括虚拟设备和数据镜像两个子模块，是网关的核心模块，主要功能是为网络与现场总线等其他网络的数据交换提供缓冲和转发服务，从而实现监测网络与其他网络的数据透明传输和消息共享。

3）输电线路视频监测装置

输电线路视频监测装置适用于危险点、突发事故点的有效监控，使输电线路运行于可控之中，方便管理人员及时了解现场信息。输电线路视频在线监测系统集视频压缩技术、数据信息处理技术、低功耗技术、数据无线通信技术、能源管理技术、抗干扰技术以及计算机技术为一体。输电线路视频监测装置主要包括视频采集仪、太阳能控制器、交换机、太阳能组件、蓄电池以及通信模块。

（1）视频采集仪。

采用视频旋转范围 360° 无限制转动，俯仰旋转范围 90°，垂直 90° 时可自动翻转 180° 的半球形先进摄像头作为视频采集仪。视频采集仪多安装于杆塔顶端横担，设计中拟采用太阳能电池板与蓄电池组为其提供 12VDC 工作电源。视频采集仪采集的视频数据通过以太网线与塔上交换机连接，支持网内远端服务器调用及控制，视频采集装置支持断电状态记忆功能，支持防雷、防浪涌、防突波，防护等级达到 IP66。

（2）太阳能控制器。

针对高压线路视频监控的特点对控制器进行了定制化的改造，提高了系统的稳定性。控制器留有多个接口，可与塔上通信设备进行多口连接（控制器上的通信端口有 RS-485、以太网口），通过塔上通信设备与监控中心进行通信，实现对供电设备的遥调、遥信、遥测、遥控功能。后台监控服务器可以通过控制器实时监控塔上供电系统运行状况，如太阳能极板发电情况、蓄电池容量、系统电压、系统电流等，控制器主要有电流监测装置、电压监测装置、温度监测装置、微处理器、通信接口、电源接口以及控制开关组成。

控制器的硬件结构如图 9-5 所示。

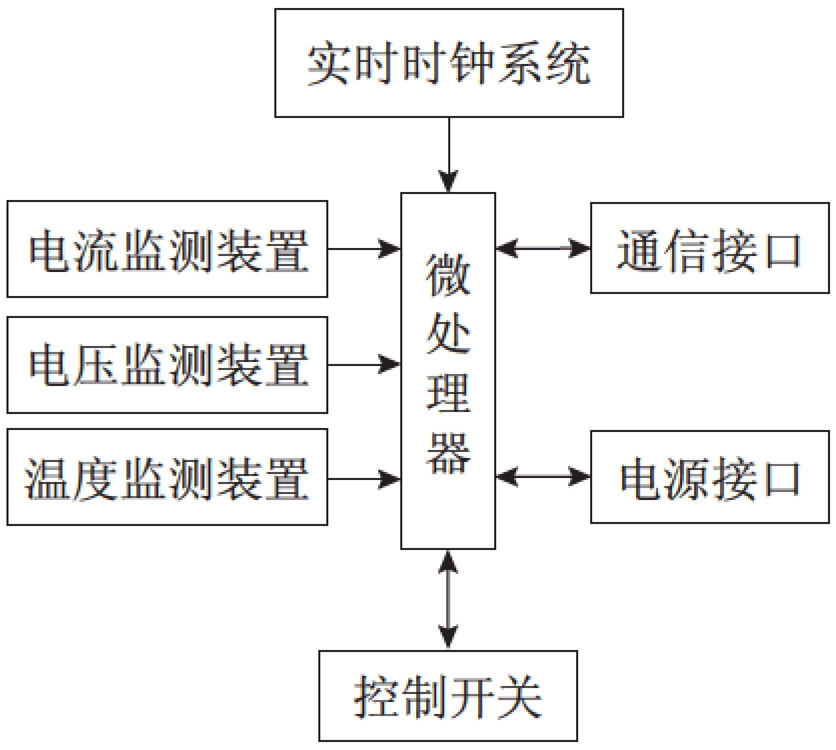


图 9-5　控制器的硬件结构框图

控制器可控制太阳能子阵充放电，在电池充满后，将系统电压维持在浮充电压的水平，最大限度延长电池寿命。控制器可根据设置及实际情况自动调整电池的工作状态，可进行电池的温度补偿、强充。控制器能够提供负载分级管理，可防止蓄电池过放电。控制器支持 4 路的独立负载供电，可根据实际需要定制其控制方式，控制方式包括手动控制、自动控制、时间控制、分段控制和自定义控制五种不同的控制方式，完全可以满足不同负载的不同需求。

控制器能够实现远端供电管理，可以通过后台服务器观察系统的电压、负载电流、PV 电流、电池状态（温补浮充温补、浮充、放电）、电池电流、电池温度、蓄电池容量状态 SOC、开关量输入输出状态；控制器具有报警功能，能够预警输入输出熔丝状态警告、系统电压过高警告、系统电压过低警告、电池温度传感器故障警告、蓄电池温度过低警告、蓄电池温度过高警告以及太阳能板被盗，也可通过网络远程重新启动、配置。

控制器还具有监测通信链路的功能，当监测到通信数据无法回传时，24 小时后会尝试通过重启通信设备的手段以解决此故障。连续阴雨天超出设计范围系统电压过低时，控制器会自动切断所有负载并令自身进入休眠状态，休眠状态下控制器功耗仅为 0.7mW。当日照情况转好后，控制器才会唤醒并根据负载的重要性等级依次打开负载。此外，控制器还有零电压启动功能，不会出现由于蓄电池放空导致系统完全瘫痪的情况。

4）输电线路导线拉力监测装置

覆冰是恶劣自然条件下输电线路常发生的事故。为了减少输电线路覆冰事故的发生，有效保证电力系统安全运行，在加强探索输电线路覆冰机理、有效的防冰除冰方法的同时，还应加强研究大电网覆冰在线监测、预警和诊断。采用国际通用的最直接、最可靠、误差最小的称重法作为计算方法，预测输电线路发生覆冰灾害的情况，为事故抢修和网络调整争取时间，保证电网的安全运行。

拉力倾角监测装置主要包括拉力传感器、倾角传感器、数据集中板，数据集中板主要包括微处理器、A/D 转换电路、无线通信模块，如图 9-6 所示。

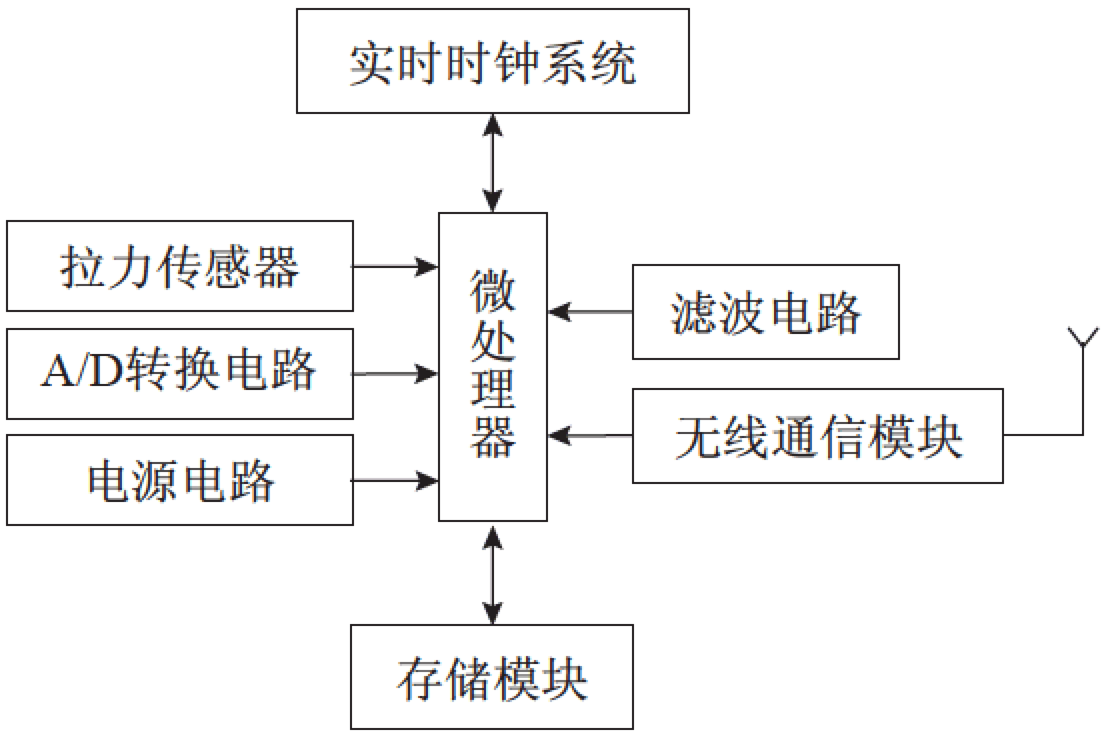


图 9-6　拉力倾角监测装置硬件结构框图

设计中采用 GJ-20T 拉力传感器替换绝缘子球头挂环，通过测量导线的拉力估算导线的质量，拉力传感器输出的信号为 4 ～ 20mA 模拟信号。拉力传感器采集的模拟电流信号经过 A/D 转换电路转化为电压信号，并经过滤波电路与放大电路进入微处理器的 A/D 引脚。采用 LED-60 倾角传感器输出数字信号，进入微处理器的 I/O 端口。微处理器以 TI 公司的 M430F1611 单片机为核心控制芯片，将采集的数据经过数字滤波后，通过无线通信模块发送至上层通信装置。

拉力监测装置的供电电源采用太阳能与蓄电池联合供电方案，并通过供电电源的中央控制器控制监测装置的工作以及蓄电池的充电放电。

拉力监测装置的软件设计中初始设定以两分钟为周期定时采集拉力数据与倾角数据，结合杆塔导线的参数计算实时等值覆冰厚度，软件设计中根据称重法数学模型以及历史数据估算监测的线路是否发生覆冰事故，并结合视频监测装置进行估测验证。系统软件设计中设有看门狗，保证系统稳定运行。

2. 变电环节装置与系统开发

1）无线通信型母线测温装置

（1）功能需求。

变电站作为现代电网中非常重要的一个环节，其变电设备连接点温度的监测越来越重要。变电站中的高压开关柜、母线接头、室外刀闸开关、断路器等重要设备在长期运行过程中，触点及接头等接触部位常因老化及接触电阻过大而发热。若这些发热部位的温度无法监控、及时处理，最终将导致事故的发生。密切关注开关、接头发热情况是杜绝此类事故发生的关键。该装置具有低功耗、高可靠性、体积小、安装灵活等特点，直接贴在母线连接点上，实现实时精确的测温。

（2）硬件设计。

温升监测节点硬件电路由微处理器最小系统，射频电路、采样电路、电源电路、滤波电路组成，如图 9-7 所示。

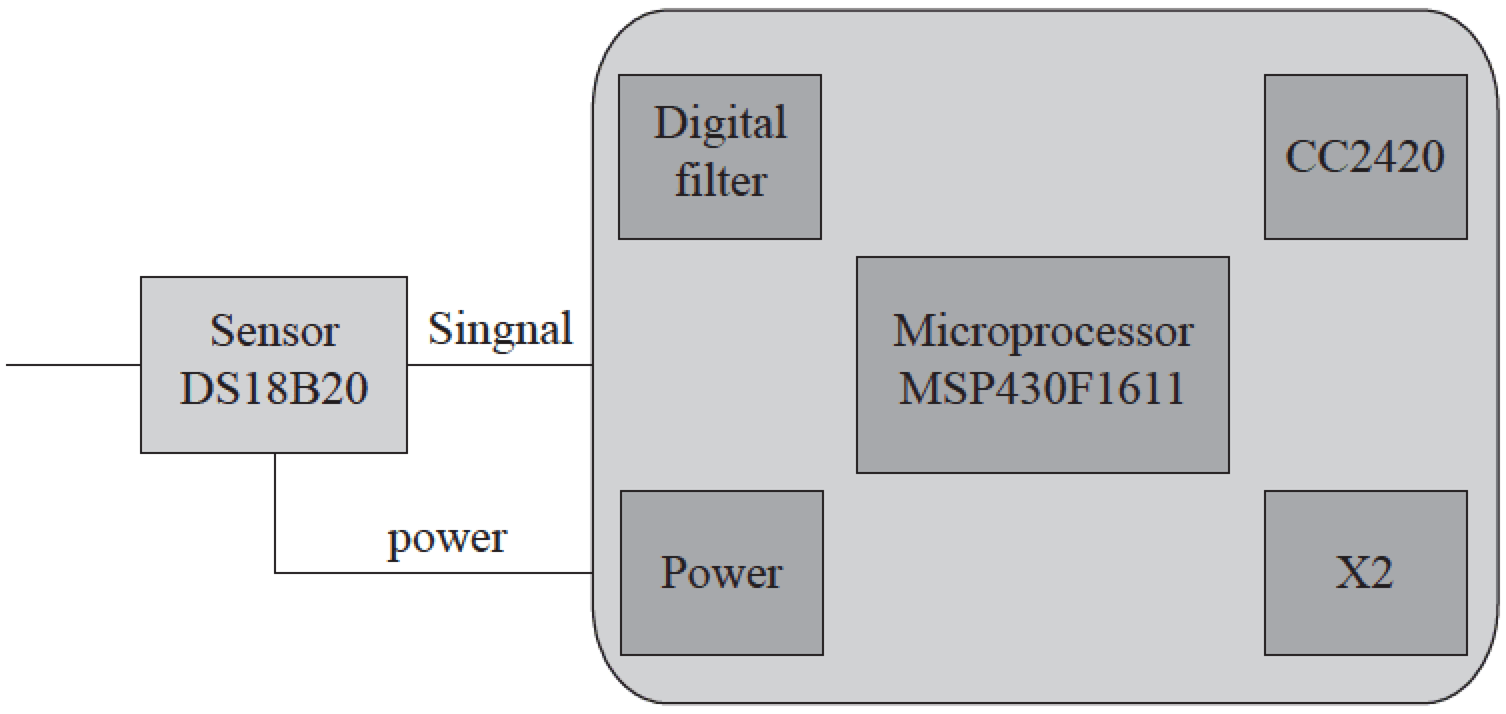


图 9-7　温升节点硬件结构框图

微处理器选择了 TI 的 16 位低功耗单片机 MSP430F1611。在电路设计中选择了 32KB 晶振，在电源引脚与地引脚间增加稳压电容与滤波电容提高电路工作的稳定性。射频芯片选择了 CC2420，布局时将射频电路与其他电路隔离，并加入了屏蔽罩来降低噪声干扰。温度传感器采用 DALLAS 生产的 3-Pin DS18B20 型数字温度传感器，固定在温升监测节点金属底板上采集温度数据，金属底板与监测目标点直接接触。传感器测量温度范围为 −55 ～ +125℃，测量精度为 0.5℃，测量的温度值用 9 ～ 12 位数字表示，直接通过数据引脚发送至微处理器。

（3）软件设计。

测温节点定时将采集的温度数据发送给与现场综合监测单元相连的网关，然后由综合监测单元再把数据传输给后台主站，后台主站监测软件收集测温节点采集的温度数据信息并加以分析，设定温度报警阈值。当采集的温度值超过初始设定阈值时，检测软件发出预警信号，通知工作人员站内存在故障隐患并报告故障隐患的位置。

监测软件初始设定温度报警阈值为 60℃，当分析监测的某个监测点的温度值低于初始设定阈值的 80%（取整设定为 50℃），系统进入等待状态，等待下一个工作周期。分析监测的某个监测点的温度值大于初始设定阈值的 80% 时（取整设定为 50℃），监测软件进一步分析计算结果是否大于初始设定阈值。若监测结果大于初始设定阈值，系统会发出报警信号。若监测结果大于设定阈值的 80% 且小于初始设定阈值，系统缩短问询及数据请求命令的工作周期为 5 分钟，系统按照新的工作周期设定进入等待状态，等待下一个工作周期，密切关注出现异常的监测点，直至该监测点的温度低于 50℃时，恢复原设定工作周期。初始设定阈值及报警的设定限值可根据实际情况设定。

2）无线通信型 SF6 监测装置

（1）功能需求。

该装置主要是对 HGIS 中的 SF6 气体进行监测，对保证设备的安全稳定运行具有重要的作用。装置能够实现的功能主要有：精确监测 SF6 微水、密度和温度；支持本地数据存储功能；支持本地显示功能；集成 WIA 无线通信模块，可实现数据无线传输。

（2）硬件设计。

装置硬件结构如图 9-8 所示，主要由微水传感器、压力传感器、温度传感器、信号采集处理器最小系统、实时时钟系统、存储器系统、无线通信模块和显示电路组成。其中微水传感器测定 SF6 的含水量，压力传感器实时测定设备中 SF6 的含量，温度传感器实时测定 SF6 的温度，信号采集处理器将采集到的各种实时数据进行分析和处理，得出测定结果，然后将结果数据存储和通过无线通信模块把数据远传给后台主站。

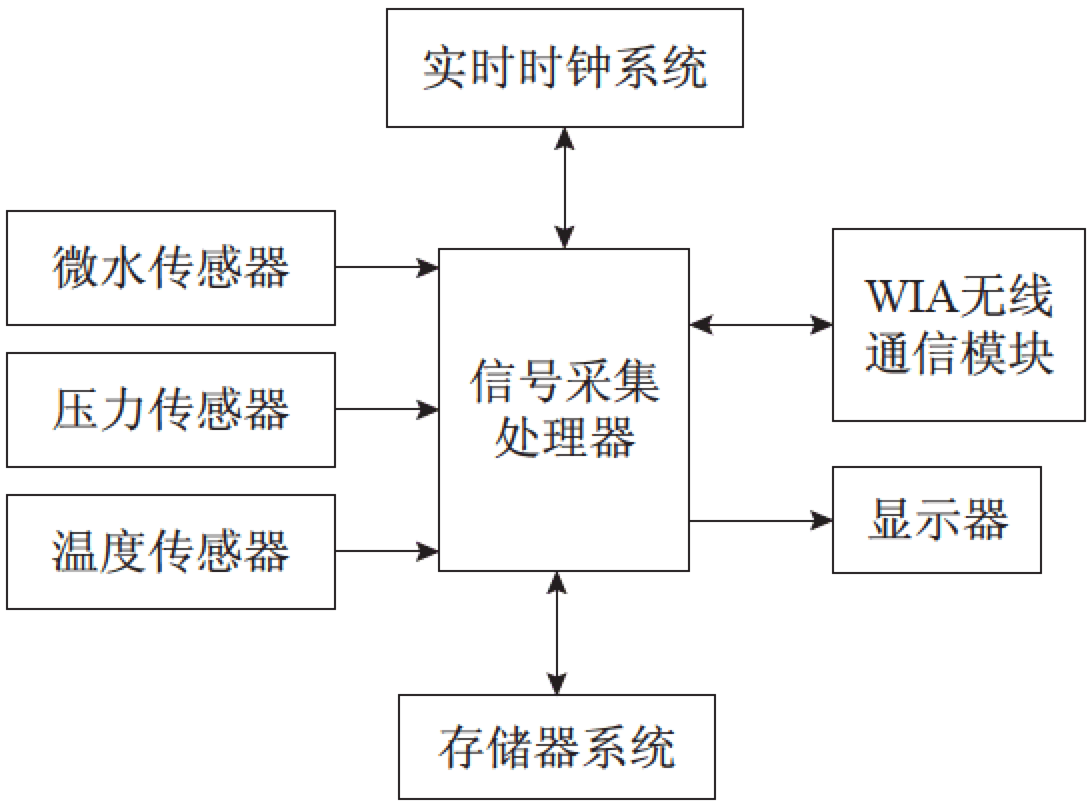


图 9-8　无线通信型 SF6 监测装置硬件结构框图

（3）软件设计。

本装置的软件部分，主要有传感器数据采集程序、气体压力修正程序、含水量修正程序、数据存储与显示驱动程序、报警程序和无线通信程序。

传感器数据采集程序主要是对微水传感器、压力传感器和温度传感器的信号进行采集和处理，然后交由信号处理器进行后续计算分析；气体压力修正程序是根据采集到的气压值和温度值，运用气体的状态参数方程，计算出气体的密度值和修正到 20℃时的气压值；含水量修正程序是根据采集到的微水含量值和温度值，由微水含量和温度的对应关系计算出修正到 20℃的微水含量值；装置支持数据的本地存数与显示功能，并能够将计算的数据与设定标准值进行对比，如果超限则发送报警信号；无线通信程序主要是编写 WIA 网络协议的接口，实现无线通信功能。

3）无线通信型变压器铁芯接地电流监测装置

（1）功能需求。

铁芯接地电流监测装置主要是对变压器铁芯接地电流和夹件接地电流进行实时测量，一旦铁芯接地电流和夹件接地电流数据超出设定的报警值，监测装置和综合监测单元将进行报警提示，提高变压器运行的安全性。装置的主要功能有：实时采集接地电流；支持本地数据存储功能；支持本地显示功能；支持本地设置和远程设置工作参数；集成无线通信模块，可实现数据无线传输。

（2）硬件设计。

装置硬件结构如图 9-9 所示，主要由电流电压转换电路、挡位切换控制电路、电压

信号调理电路、控制器最小工作系统、实时时钟系统、存储器系统、显示电路和无线通信模块等单元组成。电流电压转换电路主要是把被测的大电流和电压转换到装置能够处理的信号范围，挡位切换电路可以根据被测信号的大小自动切换到相应的测量挡位，以提高检测精度，然后通过信号调理电路进行放大滤波，提供给控制器进行处理。

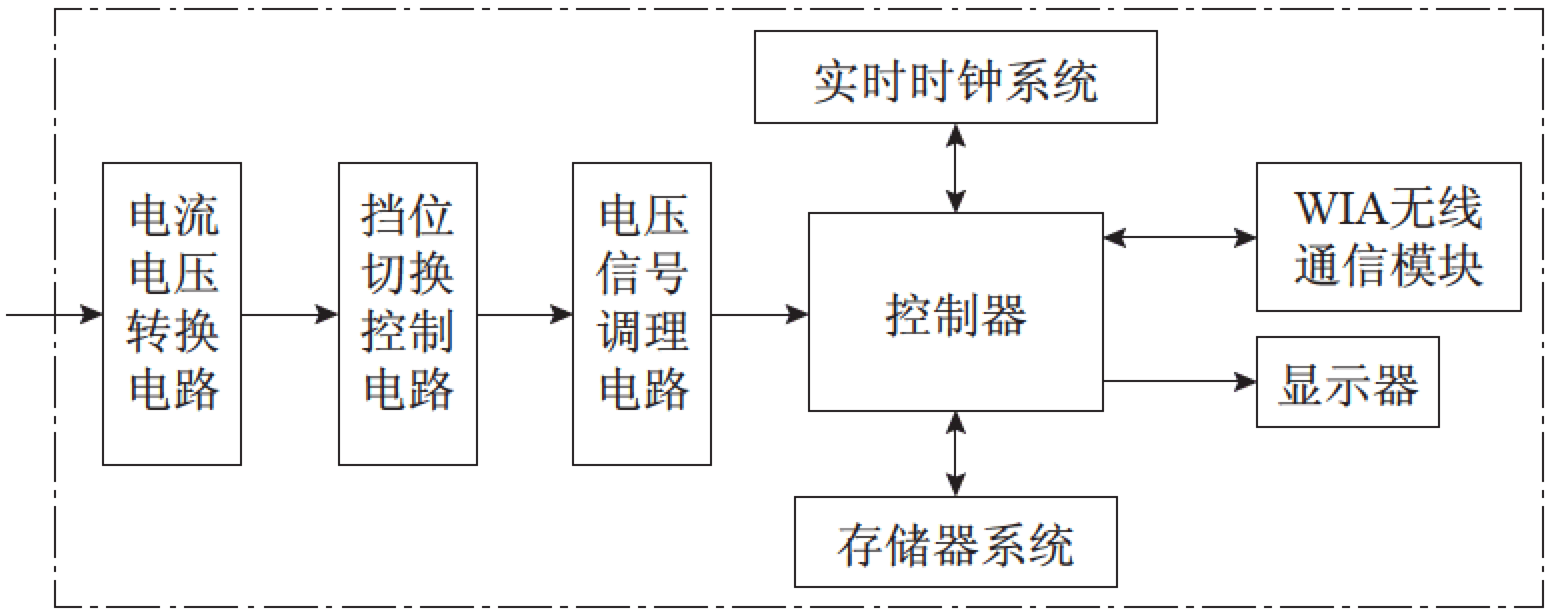


图 9-9　无线通信型铁芯接地监测装置硬件结构框图

（3）软件设计。

本装置的软件部分，主要由装置控制器软件设计部分及上位机测试软件组成。装置软件设计部分主要有采样计算程序、挡位控制程序、数据存储器件驱动程序、显示屏驱动程序、无线通信协议接口程序等部分组成。

上位机测试软件具有监测装置数据读取、通信接口配置、监测装置控制指令发送等多种功能。

4）无线通信型避雷器监测装置

（1）功能需求。

避雷器作为电力系统的过电压保护装置，其安全运行对电力设备乃至整个电力系统的安全运行具有非常重要的意义。无串联间隙的避雷器，在运行电压作用下会有泄漏电流流过，产生的热量会使电阻片的温度升高，在这种情况下长期工作会使避雷器的电阻片老化。同时，由于环境条件的影响，避雷器的电阻片会受潮及劣化，使正常工作时避雷器的泄漏电流增加。一旦系统中出现过电压，避雷器可能热崩溃，甚至爆炸，避雷器随之失去保护作用，因此需要对避雷器的运行状况进行不间断的在线监测，以确保避雷器的安全运行。装置主要实现功能有：支持本地和远程数据监测避雷器的全电流和阻性电流；记录避雷器动作次数及动作时间，方便用户查询；用户可本地和远程设置全电流和阻性电流报警阈值；集成 WIA 无线通信模块，可实现数据无线传输。

（2）硬件设计。

装置硬件组成结构如图 9-10 所示，由电流传感器、信号调理电路、A/D 采样电路、整流 / 限幅光电隔离电路、雷击计数电路、处理器、WIA 无线通信模块、显示模块和太阳能供电系统组成。

电流传感器采用有源零磁通小电流传感器从避雷器底端接地线上提取电流信号，如图 9-11 所示。

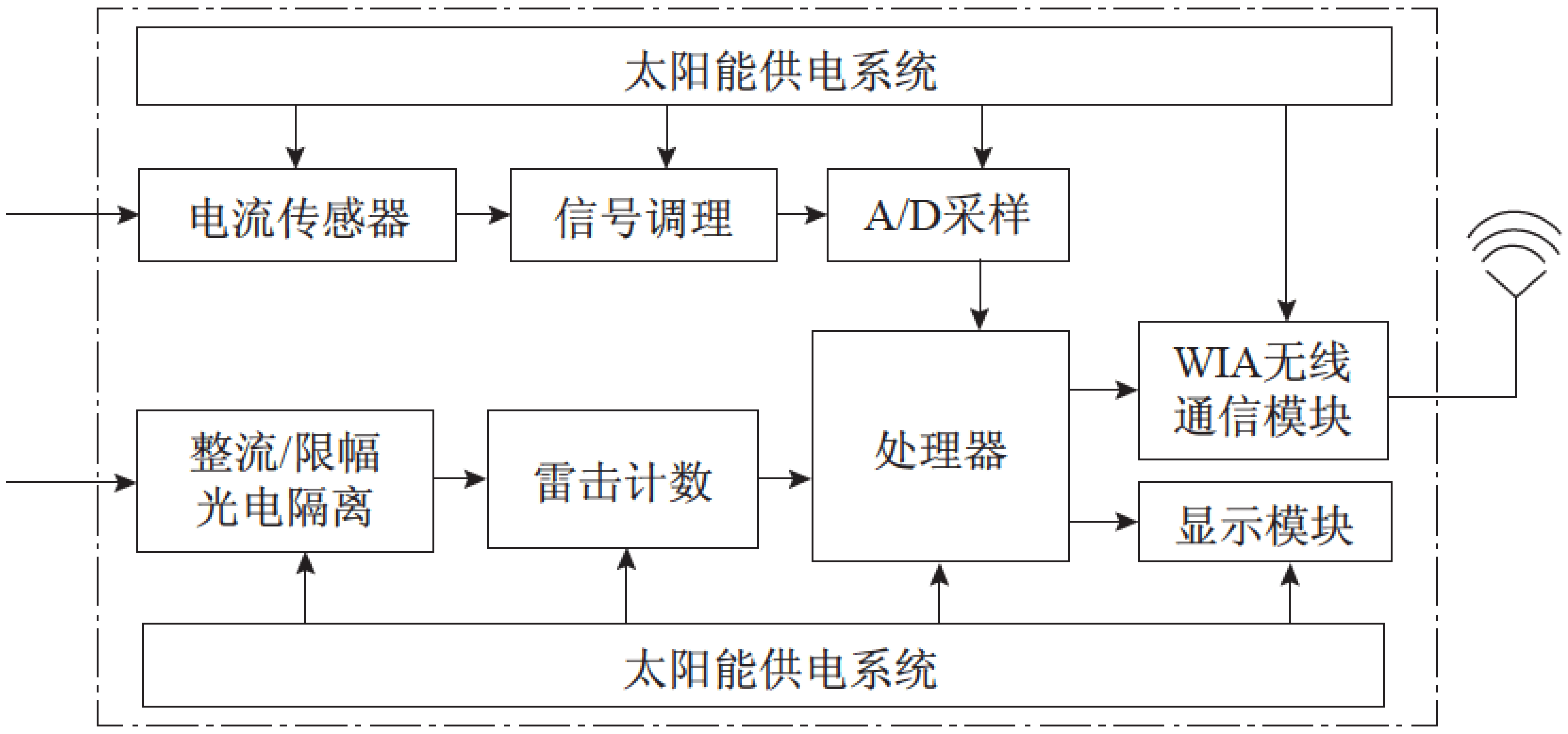


图 9-10　无线通信型避雷器监测装置硬件结构

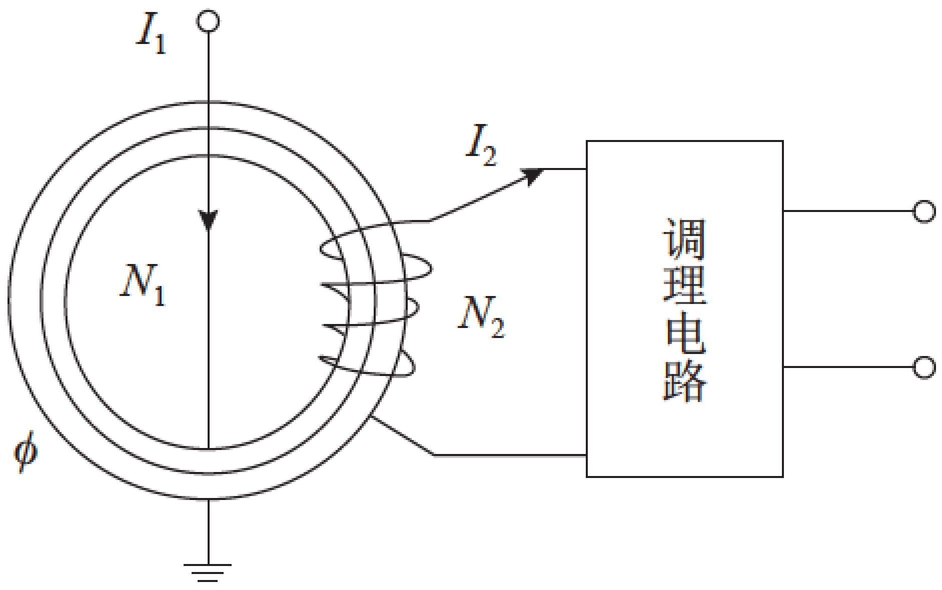


图 9-11　电流信号提取

在正常工作时，避雷器的泄漏电流不到 1mA。由于现场的强电磁场干扰，需要采取一定的微弱信号检测技术才能实现高精度的信号提取，后续的信号调理电路组成如图 9-12 所示，将小电流传感器提取出来的信号进行电流电压转换后，首先要经过模拟滤波滤掉高频噪声，然后再放大进行 A/D 采样。

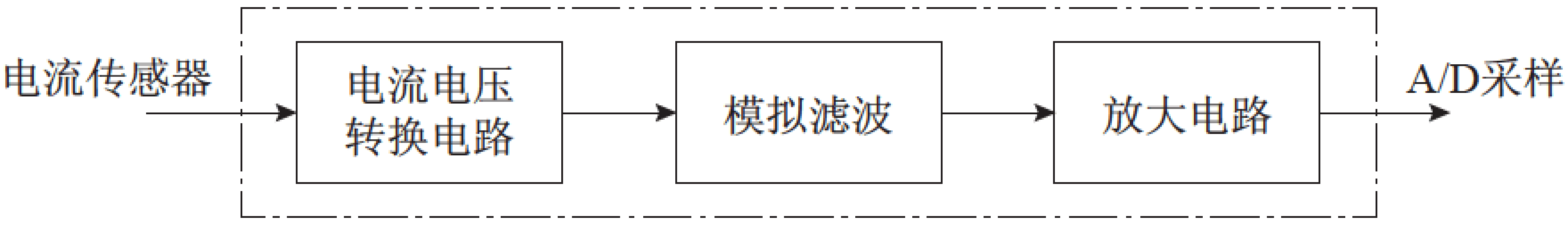


图 9-12　信号调理电路组成框图

A/D 采样电路以 10kHz 速率对检测电流信号采样并进行模数转换，然后交由处理器进行处理。

雷击计数电路负责把处理好的过压脉冲信号送给处理器进行累加计算，得出雷击次数值。

处理器将采集到的数据进行分析，得出全 / 阻性电流、泄漏电流和雷击次数值，通过 WIA 无线通信模块远传给后台主站进行后续分析和诊断，同时支持本地显示功能。

装置的能量供给由太阳能供电系统实现，其具体结构如图 9-13 所示。系统设计原

则是：根据安装地点太阳能资源具体情况和负载耗电量，确定太阳能发电容量，保证所有设备供电可靠。

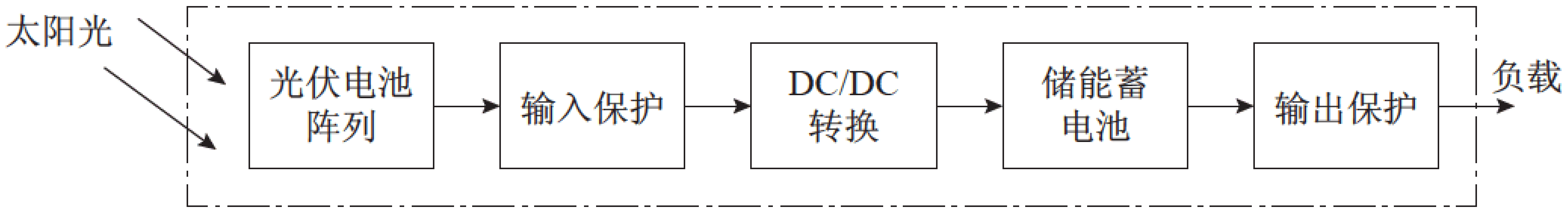


图 9-13　太阳能供电系统组成框图

（3）软件设计。

本装置软件主要分为时钟程序、数据读取程序、A/D 采样程序、算法程序、通信协议程序、计数程序。

① 时钟程序采用轮询查询方式，应用 SPI 总线读写时钟芯片。

② 数据读取程序通过总线对 EEPROM 进行操作。

③ A/D 采样程序通过定时器设定 10kHz 采样速率，并把采集信号转换成十六进制数据。

④ 算法程序采用小波变换和离散傅里叶算法，计算避雷器全电流基波有效值，并解析出阻性电流有效值。

⑤ 通信协议程序编写 WIA 无线通信协议接口程序，实现装置的无线通信功能。

⑥ 计数程序利用中断方式记录避雷器动作次数。

3. 配电环节装置与系统开发

1）故障指示系统中继装置

（1）功能需求。

故障指示器组网中继装置是配电网故障指示系统中至关重要的组成部分，起“承上启下”的作用，装置的功能主要有两个。一是在组网中，作为一个区域星型网络的中心节点，本身具有自组织多跳功能，多个中继装置又可以组成多跳 Mesh 网络，使配电网故障指示系统整体呈现“簇 - 网”结构，网络结构层次分明，拓扑灵活，节点覆盖范围广。二是在数据采集中，作为一个区域内的数据集中器，负责接收有效通信范围内的多个故障指示器的数据，然后发送给网关或者通过其他中继装置转发给网关。

（2）硬件组成。

装置的硬件组成如图 9-14 所示，由超低功耗微处理器、433Mb/s 无线射频模块、WIA 无线射频模块和太阳能供电系统组成。

由于故障指示系统的整体通信网络呈“簇 - 网”结构，多个故障指示器与数据采集器组成星形结构，形成一个簇。故障指示器可看作是簇成员，数据采集器是簇首，因簇内各节点分布集中，通信距离较短，所以故障指示器到数据采集器之间仍然采用 433M 的无路由协议的短距离无线通信。每个簇的簇首（即数据采集器）之间需要将各自网络

内的数据远传给网关，所以采用 WIA 无线射频模块形成自组织多跳 WIA 网络，完成一个区域内多个数据采集器之间的数据传递。所以，故障指示系统中继装置集成了两个无线通信模块，分别是 433M 短距离星型组网无线通信模块和 WIA 无线通信模块。

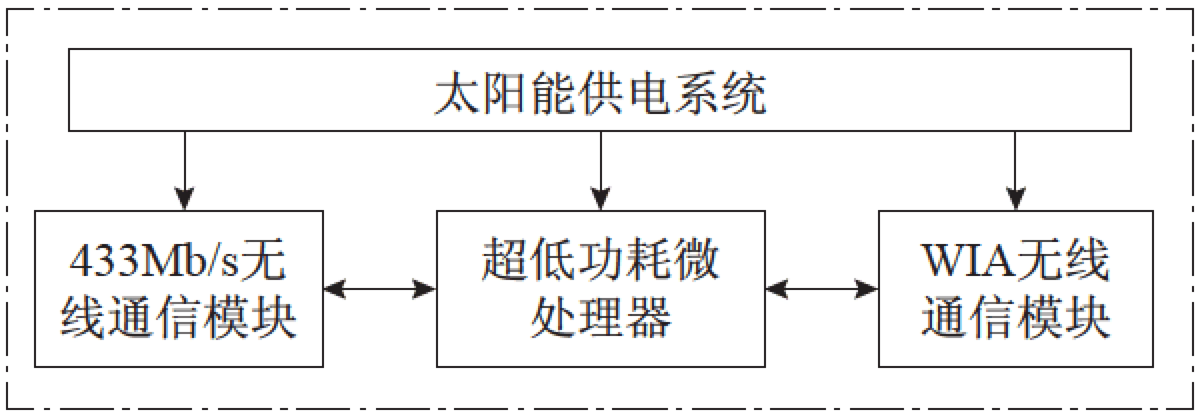


图 9-14　故障指示系统通信中继器硬件结构

装置采用超低功耗微处理器，集成的两个无线通信模块平均耗电流都在 100μA 左右，星型网络采用定时唤醒休眠的方式采集数据，WIA 网络采用基于 TDMA 的全网同步机制，减少了串听和待机时间，大大降低了功耗。所以装置可以采用太阳能供电的方式提供能量供给，40W 的太阳能电池板和 7.2AH 的蓄电池就可以保证装置在连续 7 天阴雨天的情况下正常工作。

2）故障指示系统网关

（1）功能需求。

网关装置是配电网故障指示系统中负责数据远传的重要接口，装置主要功能是实现汇聚大区域内所有故障指示器的数据信息，进行无线传感网和远传通信网络的协议转换，将数据远传给监控中心的主站，支持通过光纤和 TD-SCDMA 通信接口与远程主站交互；同时该装置还具有管理网络、维护网络的功能，保证无线通信网络的稳定性和可靠性。

（2）硬件结构。

装置硬件组成结构如图 9-15 所示，由处理器系统、光纤通信模块、TD-SCDMA 通信模块、无线射频模块和电源供电系统组成。

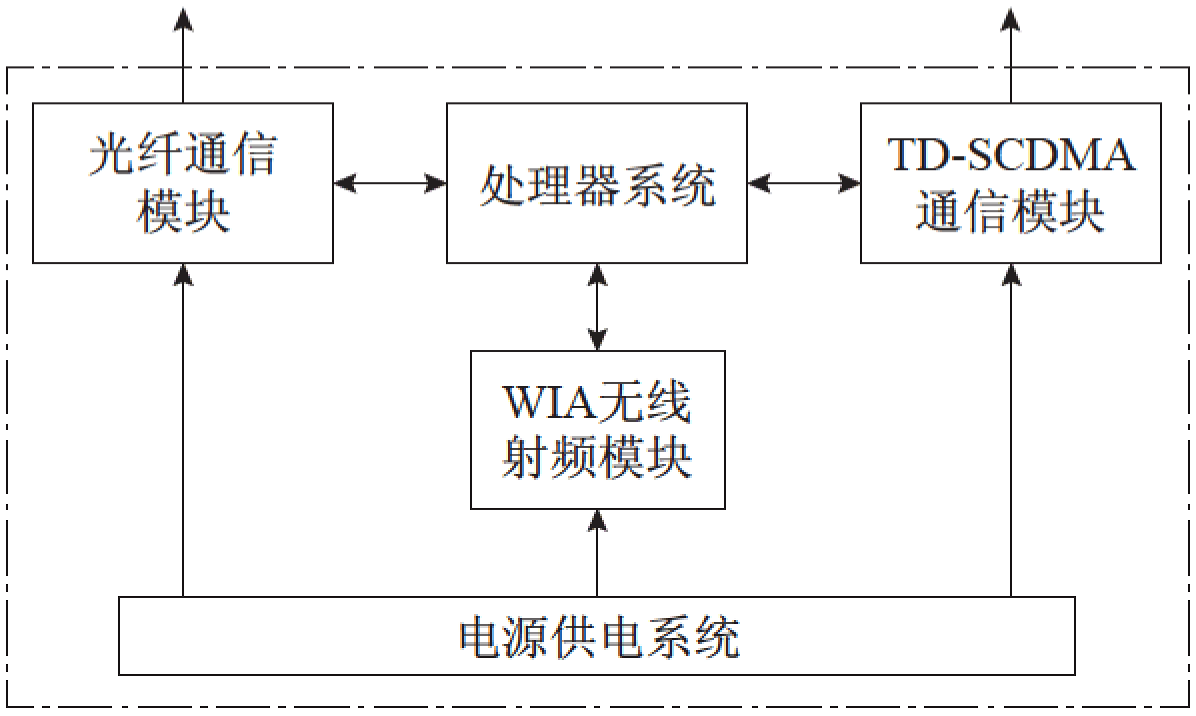


图 9-15　故障指示系统网关硬件结构框图

网关设备具备数据信息聚合、处理、信息选择和转发的功能。处理器系统把 WIA

无线通信模块汇聚的故障指示器信息进行初步分析和处理，通过筛选后将需要远传的数据信息远传给主站进行进一步的分析诊断，同时支持数据信息的本地存储。除此之外，网关设备还具有网络管理和维护的功能，最大支持 1000 个节点以上的组网规模，定时维护节点的路由信息和传输路径，定期更新网络的节点数量和运行状态。

故障指示系统网关设备具有连接光纤和 TD-SCDMA 宽带无线移动通信网络的数据业务接入能力，用户可以根据使用现场的实际情况灵活选择接入方式。

故障指示器网关采用现场供电方式，安装在变台附近，直接由变台引出 220V 电源供电。

4. 用电环节装置与系统开发

用电信息采集系统分为两部分。一部分是上行通信，主要指集中器和后台服务器之间的通信，通过 TD-SCDMA 无线通信网络、McWill 无线通信网络或光纤以太网通信网络；另一部分是下行通信，主要指集中器和智能电表终端之间的通信或集中器和采集器之间的通信，这部分主要通过 WIA 无线通信网络进行无线通信数据采集。

1）智能电表通信模块

智能电表通信模块是安装于智能电表中的一个模块装置，内部配有天线，是智能电表和集中器之间进行数据传输的媒介。智能电表通信模块通过串口与智能电表进行通信，并通过无线通信网络与集中器进行通信。智能电表通信模块正面包括数据收发状态指示灯、模块地址信息等，背面有间距 2.54mm 2×6 的插针，与电表进行连接。

（1）功能需求。

智能电表通信模块的主要功能包括进行智能电表的数据采集，向集中器发送智能电表数据，接收集中器抄表指令等。智能电表通信模块支持 DL645-1997 通信协议和 DLT645-2007 多功能电能表通信协议。智能电表通信模块还能够对数据的收发状态进行指示。

（2）硬件设计。

智能电表通信模块主要由底板电路和无线射频电路组成。底板电路包括电源电路部分、指示灯电路部分和存储电路部分等。无线射频电路包括处理器电路部分、射频电路部分等。

处理器电路采用意法半导体（ST）公司出品的 STM32F103，属于中低端的 32 位 ARM 微控制器，其内核是 Cortex-M3，最高 72MHz 工作频率，在存储器的 0 等待周期访问时可达 1.25DMISP，拥有最大 512KB 的闪存程序存储区和最大 64KB 的 SRAM。在电源管理方面，处理器电路具有 2.0 ～ 3.6V 供电的 I/O 引脚，具有上电 / 断电复位功能等，内部嵌有出厂调教好的 8MHz 的 RC 振荡器。处理器电路拥有两个 12 位的模数转换器，支出多种外设，包括 Timer、ADC、SPI、USB、IIC 和 UART 等。

射频电路采用 Si4432 芯片，Si4432 是一款低于 1GHz 高性能射频收发器，其主要针对工业、科研和医疗（ISM）以及短距离无线通信设备（SRD）。Si4432 输出功率可

达 +20dBm，接收灵敏度达到 -121dBm，可提供对数据包处理、数据缓冲 FIFO、接收信号强度指示（RSSI）、空闲信道评估（CCA）、唤醒定时器、低电压检测、温度传感器、8 位 AD 转换器和通用输入 / 输出口等功能的硬件支持。

存储电路采用意法半导体公司推出的串行闪存芯片，该器件可以工作在 -40 ～ 125℃，集成一个标准的 4 线 SPI 总线和改进的 25MHz 数据传输时钟，工作电源电压在 2.7 ～ 3.6V，具有 1μA 的深省电功能，数据保存期限至少 20 年，整个存储扇区擦写循环 10000 次，利用分页编程指令，每次可写入存储器最多 256 字节。

智能电表通信模块与单相电能表通信接口遵循国家电网公司标准，接口电路采用 2×6 的双排插针。

智能电表通信模块软件设计主要包括两部分。一部分是处理器与电表之间进行的通信，按照 DL645-1997 通信协议或 DLT645-2007 多功能电能表通信协议；另一部分处理器和集中器之间进行的通信，遵守 WIA 无线网络通信协议。WIA 无线网络通信协议能够在智能电表通信模块和集中器之间建立稳定、可靠的通信路径。该协议实现了自主组网，支持超过 500 点的网络，具有通信时延小的特点。针对所开发的无线传感器网络通信协议，在中国科学院沈阳自动化研究所建立了测试实验网，进行长时间运行测试。期间网络运行稳定，通过测试软件统计数据可知：单点读取成功率大于 99%，广播读取成功率大于 98%。

2）智能电表集中器

在整个无线抄表系统中，智能电表集中器起着承上启下的作用。在上行通信中，集中器与后台服务器之间进行宽带无线通信，如 TD-SCDMA 无线通信网络、McWill 无线通信网络、GPRS 无线通信网络或是光纤以太网通信网络等。在下行通信中，集中器与终端智能电表或数据采集器通过 WIA 无线通信网络进行通信。

（1）功能需求。

按照国网标准，智能电表数据集中器具有无线通信功能。集中器除具备国网标准规定的数据采集、存储功能外，可以通过无线传感器网络采集用户电能表数据，通过宽带无线网络将采集的信息上传到管理中心。集中器可以分别于后台处理器和终端设备进行双向交互式通信。

（2）硬件设计。

智能电表数据集中器的电路设计主要包括电源电路部分、无线通信电路部分、EEROM 存储电路部分、集中器接口电路部分和指示灯电路等。

电源电路部分采用 LM2576 电源转换芯片和 AMS1117-3.3 电源转换芯片。LM2576 系列是美国国家半导体公司生产的 3A 电流输出降压开关型集成稳压电路，它内含固定频率振荡器（52kHz）和基准稳压器（1.23V），并具有完善的保护电路，包括电流限制及热关断电路等，利用该器件只需极少的外围器件便可构成高效稳压电路。LM2576 将输入电压范围在 9 ～ 40V 的电压转换成 5V 电压供电路使用。LM2576 内部包含 52kHz

振荡器、1.23V 基准稳压电路、热关断电路、电流限制电路、放大器、比较器及内部稳压电路等。为了产生不同的输出电压，通常将比较器的负端接基准电压（1.23V），正端接分压电阻网络，这样可根据输出电压的不同选定不同的阻值，其中 R_1=1kΩ，R_2=1.7kΩ，上述电阻在芯片内部做了精确调整，因而无须使用者考虑。将输出电压分压电阻网络的输出同内部基准稳压值 1.23V 进行比较，若电压有偏差，则可用放大器控制内部振荡器的输出占空比，从而使输出电压保持稳定。

（3）软件设计。

集中器中软件设计包括三部分，一是 WIA 无线抄表部分，二是数据存储部分，三是与后台通过 TD-SCDMA 等无线网络通信部分。WIA 无线抄表部分支持 WIA 无线抄表协议，支持多跳、自组网功能，将智能电表终端数据打包转换。数据存储部分主要对抄表数据进行存储备份。与后台通信部分是将智能电表接收到的终端数据通过 TD-SCDMA 等宽带无线网络传输到后台服务器。

3）智能电表数据采集器

智能电表数据采集器主要完成对具有 RS-485 接口电能表的电量采集，并且利用 WIA 无线自组网技术，把用电数据以无线方式上传，用于 WIA 无线远程抄表系统。

目前，我国低压电力用户电能表分布一般呈分散式和集中式两种。我国的一户一表制决定了分散用户不适合使用采集器，因其布线成本较高。集中式分布的情况较适合使用采集器。常见的呈分散分布的用户群体包括农村用户以及城市老小区用户，老小区指的是电能表按层装表的小区，每层两到三户共用一个表箱。电能表集中式分布的情况在新小区中最为常见，通常每个单元用户共用一个集中表箱，此时可将一个单元的所有电能表接到一个采集器上。

（1）功能需求。

具备短距离无线通信功能的采集器采用 RS-485 接口与智能电表进行连接，每个采集器最多可接入 15 块智能电表，采集器及其连接智能电表方式，通过采集器以 RS-485 总线方式连接电表。

（2）硬件设计。

数据采集器电路设计主要包括电源电路部分、射频电路部分、RS-485 电路部分等。电源电路部分采用 AC220V 输入，将其转换成 5V 电平和 3.3V 电平提供给电路。射频电路部分直接采用智能电表通信，此处仅提供通信接口。

（3）软件设计。

数据采集器软件设计部分主要包括两部分。一部分是数据采集器与集中器之间进行的数据通信，通过 WIA 无线网络进行数据传输；另一部分通过 RS-485 总线与智能电表进行通信。与智能电表通信采用查询表地址的方式，当集中器发出一条抄表指令，通过 WIA 无线网络传给数据采集器，数据采集器将指令通过 RS-485 总线发给智能电表，智能电表接收指令后判断是否是在抄读自己。如果是，则进行读取智能电表数据，然后通

过 RS-485 总线传递给数据采集器，采集器将数据通过 WIA 无线网络传递给集中器以完成抄表。如果不是，则不做任何操作。

9.2.4　面向电网安全监控与信息互动的信息处理技术

1. 输变电在线监控管理系统软件

输变电在线监控管理系统软件主要用于监视特高压输电线路运行情况、诊断输电线路设备状态。通过研究各种探测器，探测到输电线的温度、覆冰状况、视频图像或图片等数字化信息，通过 GPRS/TD-SCDMA 通道上传到变电站内输电线路状态在线监测监视中心，同时可通过内部网登录内部管理系统和调度自动化系统。监控中心设有后台监测服务器，各种在线监测数据、图像、视频和抢修车辆位置等信息能直观显示在服务器上，使监控人员能及时监视设备运行情况，准确判断设备状态和现场情况。

1）软件结构

软件系统主要由在线监测数字化管理系统模块、状态监测数据库模块、状态监测数据的二次加工模块、状态监测数据服务模块、状态监测应用功能模块、状态监测装置、CMA 和 CAC 管理功能模块、系统管理与配置功能模块组成。

2）软件功能

软件将在线监测系统所覆盖区域的电力线及输变电站设备状态以可视化的形式展现，具备状态查询、报警、统计分析等功能。系统为 B/S 架构，支持大型关系型数据库和主流浏览器，监测信号总量可达 10000 点以上，数据可存储至少 10 年。本软件可提供客户通过远程 Web 浏览器进行监测界面的管理，方便操作人员根据具体管控线路进行动态组态，以便与实际管控线路相对应。在不影响现有的电力业务系统运作和使用的情况下与其进行无缝互连和二次集成。

3）覆冰诊断与预警模块设计

采用称重法将拉力传感器替换球头挂环，直接测量在一个垂直挡距内导线的质量。利用风速、风向和倾角传感器，计算出风阻系数和绝缘子串的倾斜分量。采用排除法，最终得出覆冰质量，再用 $0.9g/cm^3$ 的密度换算为等值覆冰厚度。这种方法是最直接、最可靠、误差最小的国际通用的方法，加拿大、日本、俄罗斯等国家都是采用这种方法。

采用称重法监测覆冰的装置具有很好的功能扩展性，加装双轴倾角传感器可监测杆塔所承受的垂直下压力、纵向不均衡张力、导线风偏角和杆塔倾斜度等。

系统部署在监控中心的数据采集软件可以实时地采集监测线路所属的各个杆塔上覆冰导线的重量、弧垂等变化的参量，同时结合各监测分机的点测或巡测的数据进行分析判断。通过采集到的各类参数，包括导线的张力、弧垂、绝缘子风偏角、杆塔的倾斜角度、环境湿度、温度、降雨量、风速等相关信息，代入到已知的导线覆冰相关的计算关系方程，通过得出的计算结论，可分析判断当前线路导线的覆冰情况。

4）舞动监测与诊断模块设计

基于无线通信网络的输电导线舞动在线监测技术是最近几年研究比较多的一种技术，主要是监测现场的各种数据（包括舞动振幅、舞动频率和环境、气象信息等），根据输电导线舞动的三自由度数学模型进行导线舞动的计算。由于导线舞动机理、数学模型的不完善（尤其是数学模型出现了更为精确的多自由度）以及微气象条件的影响，该在线监测方法的应用推广也有其局限性，其数学模型要结合当地输电导线信息（主要是所处的环境、导线的类型、材料等信息）以及当地的气象信息，进行合理的修改，才能得到较为理想的结果。

2. 变电站在线监测系统软件

变电站在线监测系统软件负责全站状态数据的整合、处理和封装，可以通过 TD-SCDMA 接口与远方集控中心进行通信。其主要包括一次系统主接线图、实时数据 / 历史数据查询、监测数据图形曲线展示、报警信息查询、报警短信提醒、设备实时状态显示、日志信息查询、监测设备综合统计分析和设备故障诊断等功能。

1）软件结构

变电站在线监测系统软件功能基本按照体系结构中的要求进行设计。系统采用分层分模块的设计思想，软件系统主要由权限、配置管理模块，数据库，数据服务模块，分析、诊断和预警模块，数据呈现模块和通信模块组成。

2）软件模块设计

（1）主接线图展示模块。

主接线图界面以变电站主接线图的形式直观地显示了变电站内各种类型的设备及其状态数据。监测的设备类型包括变压器、避雷器、电流互感器、电容式电压互感器、耦合电容器等。对于异常的数据，界面上以不同颜色的数据加以显示，对于报警的设备，系统还给予醒目的显示。

（2）数据查询模块。

可以通过数据查看模块查看这一段时间的详细历史数据，其中各种监测数据都已列出，可以查看该设备的各种数据在相应的一段时间内的趋势变化，并以曲线图表形式显示。

（3）报警信息模块。

系统具备智能采集和报警功能。由于设备在线监测数据往往容易受到天气变化的影响，在数据采集处理的时候，对个别突变性的数据进行了过滤舍弃，对介质损等监测数据持续性变化的情况，系统具有报警功能，并通过手机短信向设备管理人员报警。

（4）统计分析模块。

统计分析模块主要是针对变电站内的监测数据，通过一些分析方法对一条监测数据或一组监测对象进行分析统计，可以依据各种一次设备的评价导则，对搜集上来的各种扣分信息进行综合评判，确定各种设备的可能状态。

（5）故障诊断模块。

故障诊断模块对变电设备的在线监测采用了多种方法相结合的综合诊断，除了可以根据设定的设备运行参数的上下限值来判断监测数据是否越限外，还可以进行一系列的高级判断。例如，变压器油色谱的三比值法、大卫三角形法等判断方法，从多个方面、多个角度对设备的状态做出全面、准确的诊断。

（6）远程通信模块。

该模块采用 TD-SCDMA 接口向远方主机周期性地上送状态参量数据以及站内所有在线监测系统装置的状态信息。该模块能够接收远方主机的对时信息，并具有一定的守时功能。该模块能够接收远方的主机的控制和配置，主要包括接受远方的数据召唤命令并返回相应的数据，接收远方对上送数据周期的设置并调整数据上送周期。

（7）远程维护模块。

该模块提供基于 B/S 结构的远程维护功能，远方可以实现软件模块的配置和管理维护功能，远方可以进行简单的数据浏览和导出。

（8）通信协议模块。

在现场的运行环境中，每个客户端后台程序都会连接多个服务器端（主 IED）。目前的设计是通过进程来维护客户端和某个服务器端建立通信和 IEC61850 服务的支持，这样可以保证每个客户端和服务器端之间的连接保持相互独立。同时考虑封闭性和可再现性；程序的并发执行和资源共享。多道程序设计出现后，实现了程序的并发执行和资源共享，提高了系统的效率和资源利用率。

（9）数据处理模块。

该模块完成对通信服务接口接收到的服务数据（xml 格式）的进一步解析，并提供该数据给在线监测后台管理系统，将数据导入数据库中。

3. 配电网故障指示系统软件

配电网故障指示系统软件能够接收配电线路上部署的故障指示器发送的监测报文，并对报文进行解析，对线路的负荷电流进行实时监测，判断线路是否发生故障。如发生故障，会向相应的维修人员发送故障提醒短信。此外，系统支持 Web 端访问和谷歌地图显示，向用户提供一个直观、友好的可视平台，大大提高了故障维修效率，缩短了故障持续时间。

1）模块设计

数据处理模块可分为 5 个子功能模块。其中服务器设置子模块包括服务器的搭建、配置、启动三部分。数据报文处理子模块包括报文接收、解析、故障发生条件判定三部分。数据存储和更新子模块包括数据报文存储和监测点状态更新两部分。信息整理子模块包括负荷电流数据提取、故障信息整理、故障信息提取和数据导出四部分。故障短信通知模块包括故障短信生成、故障短信发送和异常情况处理三部分。

数据处理模块的核心在于数据报文的处理、故障短信通知两部分。其中，对数据

报文的处理和短信的发送都是程序根据接收到的报文内容自动进行的，而且程序要保证长时间的稳定运行，因此在设计过程中要对程序运行时的逻辑、内存的使用情况等十分注意。

系统的执行流程的核心在于对数据报文的解析。当监听服务器接收到网关发送的数据报文后，判定其是否有效。之后按照协议进行解析，将解析后的信息存到数据库中，并根据解析出来的故障状态判断是否发生故障。若发生故障，则调用故障短信通知模块。

2）统计查询模块的设计

统计查询模块分为四个子模块。其中，GIS 信息显示模块包括线路显示以及指示器信息显示模块，图表显示模块包括静态折线图显示、动态折线图显示以及故障报文饼状图显示，数据查询模块包括电压查询以及故障历史查询，系统设置模块包括系统设备设置、维护人员信息设置以及线路维护人选设置。系统设备设置还包括供电局设置、供电所设置、线路信息设置以及指示器设置。

统计查询的核心在于对指示器状态的显示以及数据的查询。其中，数据查询主要是为了便于统计线路的稳定状态、负载等信息，而指示器状态则是指示当前的线路运行状态，便于维护人员及时了解线路状态。当线路发生故障时，维护人员能及时了解，及时对线路故障进行处理。

4. 用能分析与互动软件

用能分析与互动系统采集终端设备用电信息、环境信息等，利用无线通信等方式，传输至本地服务器系统。本地服务器维护一个数据库和一个 Web 服务器，支持用户本地访问和本地控制。本地服务器通过相应的上传策略，将家庭用电信息、环境信息上传至远程服务器。同时，本地服务器接收远程服务器下发的控制指令，依据控制指令对本地负荷进行控制，从而形成系统内部用电用户间的互动。

1）软件架构设计

为了满足用能分析与互动分析平台环境及数据处理需求，使平台使用合理化，其中环境搭建采用主服务器独立、任务平均分布的解决方案。根据请求的特性采用 MVC 架构。

在上面的设计中，用户通过 Web 浏览器向服务器发送调用请求，服务器处理请求并进行相关操作。Web 服务器启动时解析 XML 配置文件，如果连接数据库，则首先由用户手动提交数据库的配置信息，然后进行数据库连接，执行相关系统调用。整个系统需要在数据库连接之后运行。数据库连接之后，用户发送相关操作请求，服务器通过数据库调用得到相关数据，然后根据相关操作和相关数据对用户做出反应。将处理结果返回操作页面或做出相应操作。

同时该系统还具有可移植、面向 Web 体系、可扩展、易维护、时效性等特点。为了保证系统的健壮性和稳定性，采用已经非常成熟的 JavaEE 技术。JavaEE 提供了一套完整的解决所有这些问题的框架方案，获得了业界的广泛支持。

系统采用了 B/S 结构作为系统的解决方案，在 JavaEE 开发框架的基础上，做出更

为合理的分层设计，从而使项目的开发过程变得更加简单和清晰。

（1）数据层。

数据层是系统数据访问的接口，负责访问数据。数据层的持久化主要采用 MyBatis。MyBatis 是支持普通 SQL 查询、存储过程和高级映射的优秀持久层框架。MyBatis 消除了几乎所有的 JDBC 代码和参数的手工设置以及结果集的检索。MyBatis 使用简单的 XML 或注解进行配置和原始映射，将接口和 Java 的 POJOs（Plain Old Java Objects）映射成数据库中的记录。

（2）事务逻辑层。

事物逻辑层是系统的核心业务处理层，负责接收表示层的指令和数据，根据业务逻辑的需要调用相应的持久层，并将结果返回给表示层。主要采用 Spring 框架技术，使用 Spring 等框架可以简化很多基础性的工作，配置好后可以方便构建业务应用。

（3）表示层。

根据客户要求，表现层的框架采用 structs 框架，在页面显示上，采用 JSP+CSS。由于该系统在前台需要形象的图标作为展示，可以采用 Highcharts 技术、Ajax 技术完成页面的显示。

用户通过单击 Web 浏览器客户端通发送页面请求，页面触发 JavaScript 执行通过函数触发 Ajax，Ajax 发送数据请求，请求首先进入控制器进行处理，控制器通过访问 XML 文件执行相应的 action，再通过业务逻辑层，以及数据持久化接口的调用，返回结果给前台界面的 Ajax，Ajax 通过回调函数触法 Highcharts 进行图表的绘制。

2）软件模块设计

（1）数据采集模块。

数据采集过程有数据包接收、数据包过滤、数据包解析和数据存储。不同时间段有不同的执行过程。

（2）数据迁移模块。

数据迁移过程有读取数据、存储数据等。不同时间段有不同的执行过程。

（3）数据传输控制模块

监控与服务子模块中有另外一个功能点，即对用电设备进行控制。Web 页面对已有的用电设备进行监控中包括现有用电设备的实时状态，如开状态和关状态，同时页面提供一个按钮，根据现有状态可以对设备进行控制。当用户查看用电设备的状态，并单击开关按钮对设备进行控制，页面向 Action 发出请求，在 Action 中涉及调用硬件控制模块的接口，通过编写好命令格式，封装成 Http 报文，发送给硬件控制模块，同时在数据库中修改设备的现有状态，Action 通过刷新页面，向后台发送数据请求，请求数据获得后，通过 dataTable 将设备的新状态显示在页面上。

（4）数据采集中数据包控制状态。

在系统流程中，随着操作的进行数据包的状态也会变化。同时，通过数据包状态的变化，限制了某些操作的进行。

在数据包状态控制中，由于接收数据、过滤数据和解析数据的过程中会有很多无效的数据包。这些包作为丢弃包处理，完全丢弃。如果一切正常，数据包将被解析存储到数据库中。

（5）数据传输控制状态。

由于控制命令分为连接控制命令、定时命令和控制命令三种，命令的下发过程可分为封装命令和发送命令两个状态，以控制命令的状态。

控制命令的状态控制中，所有的状态都是单一的状态。其中，发送状态的命令是经过封装的数据包。除了命令的编号以外，同时附加了许多控制信息。

（6）用电展示模块。

社区用电管理中的监控与服务子模块，主要是对实时数据进行监控和显示。社区管理员成功登录社区用电监控模块，在监控和服务中单击某用电设备监控，Web 前台向加载页面，JavaScript 中的 Jquery 向 action 发送获取数据的请求，action 进一步获取后台的业务数据，包括业务逻辑层和持久层。后台返回数据给 Jquery，Jquery 通过数据数组触法 Highcharts 显示在页面。

9.3 无线移动通信物联网示范工程应用案例

220kV 输电线路物联网线监测示范应用、何家 220kV 智能变电站在线监测示范应用、配电线路物联网系统在线示范应用是本节介绍的主要内容。

9.3.1 220kV 输电线路物联网线监测示范应用

1. 示范应用概述

辽宁省本溪市供电局辖内 220kV 程徐线与渭卧线位于本溪市偏远郊区群山环绕之中，自然条件恶劣，空气湿度大，能见度较低，曾多次发输电线路覆冰及雷击闪络事故，给电力部门的安全生产与人民的生活带来重大的经济损失。程徐线与渭卧线途径山区树林茂密，树木长势较快，个别山区的本地居民活动较多，包山育林或者发展林带养殖。但由于路途遥远，交通不便，车辆难行，巡检工作难以及时有效地展开。为提高“程徐线 - 渭卧线”安全运行水平，辽宁省电力有限公司 2012 年开始在该线路上建设输电线路在线监测系统。输电线路在线监测系统主要监测类别包括输电线路视频监测、输电线路导线温度监测及输电线路覆冰监测。输电线路在线监测装置主要由主控制箱、视频采集装置、导线温度监测装置、拉力倾角监测装置、WiFi 无线网桥、天线、蓄电池组、太阳能电池板、光缆、安装结构件等部件组成。在程家变电站设置监测服务器，通

过后台软件观测输电线路视频、温度及覆冰变化情况。在线监测装置安装位置为 27#、28#、29#、38#、39#、40#、43#、44#、45# 铁塔及渭卧线 369# 杆塔。覆盖线路长度超过 10km。安装结构如图 9-16 所示。

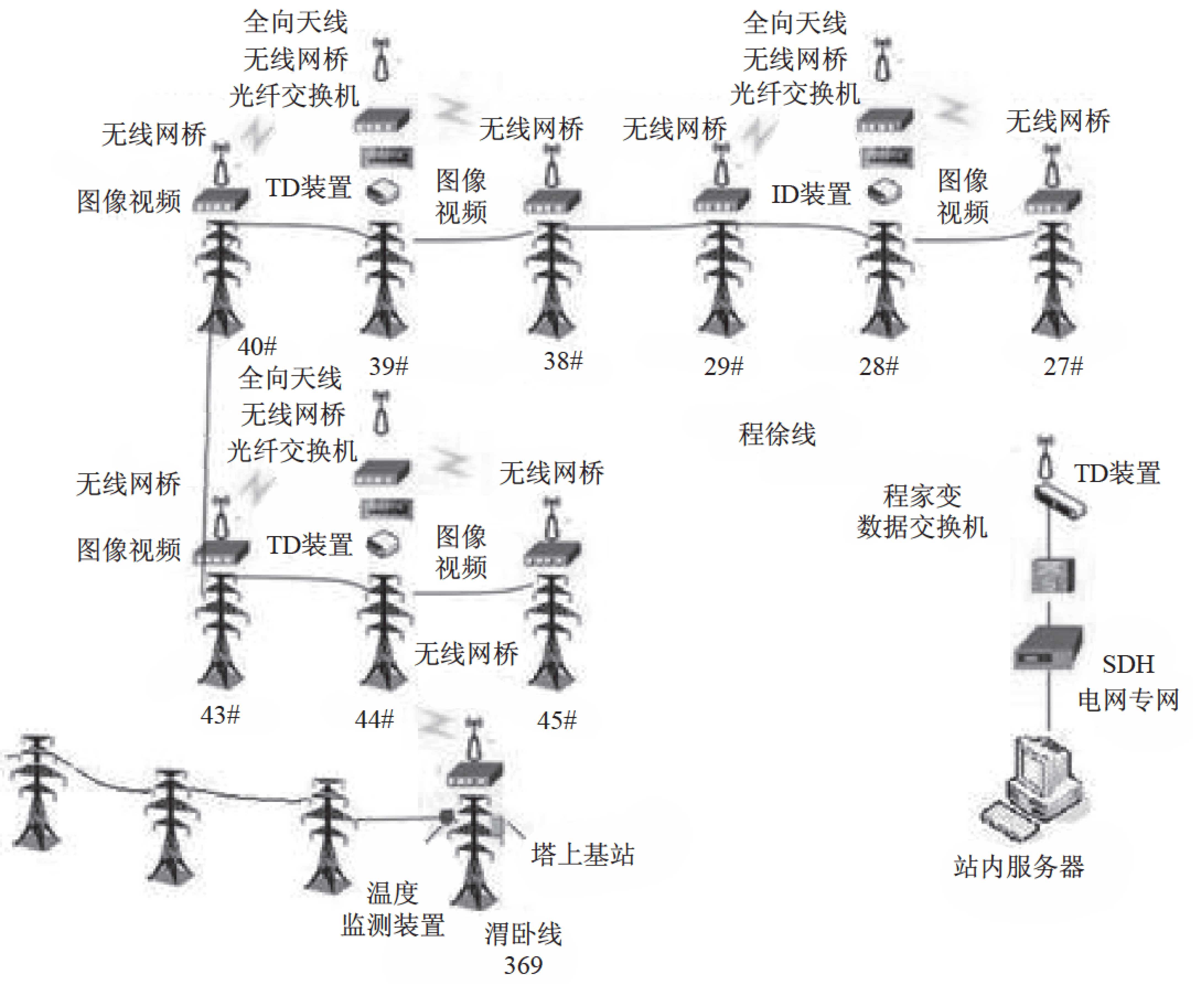


图 9-16　输电线路在线监测示范应用安装拓扑

2. 系统架构

输电线路在线监测系统网络结构如图 9-17 所示。输电线路导线温度监测装置通过 WIA 短距离无线通信网络将采集的导线温度信息上传至塔上主控制箱内的数据集中网关，数据集中网关固定在主控制箱内的单板上，通过控制箱侧面防雨罩下引线孔引出天线延长线，数据集中网关短距离无线天线选择吸盘式天线，吸附在主控制箱侧面朝向温度监测装置方向。数据集中网关通过以太网线连接至主控制箱内的交换机，交换机的端口与塔上 WiFi 天线连接。

拉力倾角监测装置通过有线方式与安装其附近杆塔上的数据集中板通信，数据集中板对采集的拉力数据信息与倾角数据信息进行初步处理，通过短距离无线通信方式将采

集的拉力数据信息与倾角数据信息传至塔上主控制箱内的数据集中网关，数据集中网关通过以太网线与主控制箱内的交换机连接。

视频采集仪通过有线方式与杆塔横担处的主控制箱内的交换机连接，将采集的视频信息通过以太网线上传至上级通信设备。视频采集仪通过以太网线接收监测后台向其发送的控制命令。

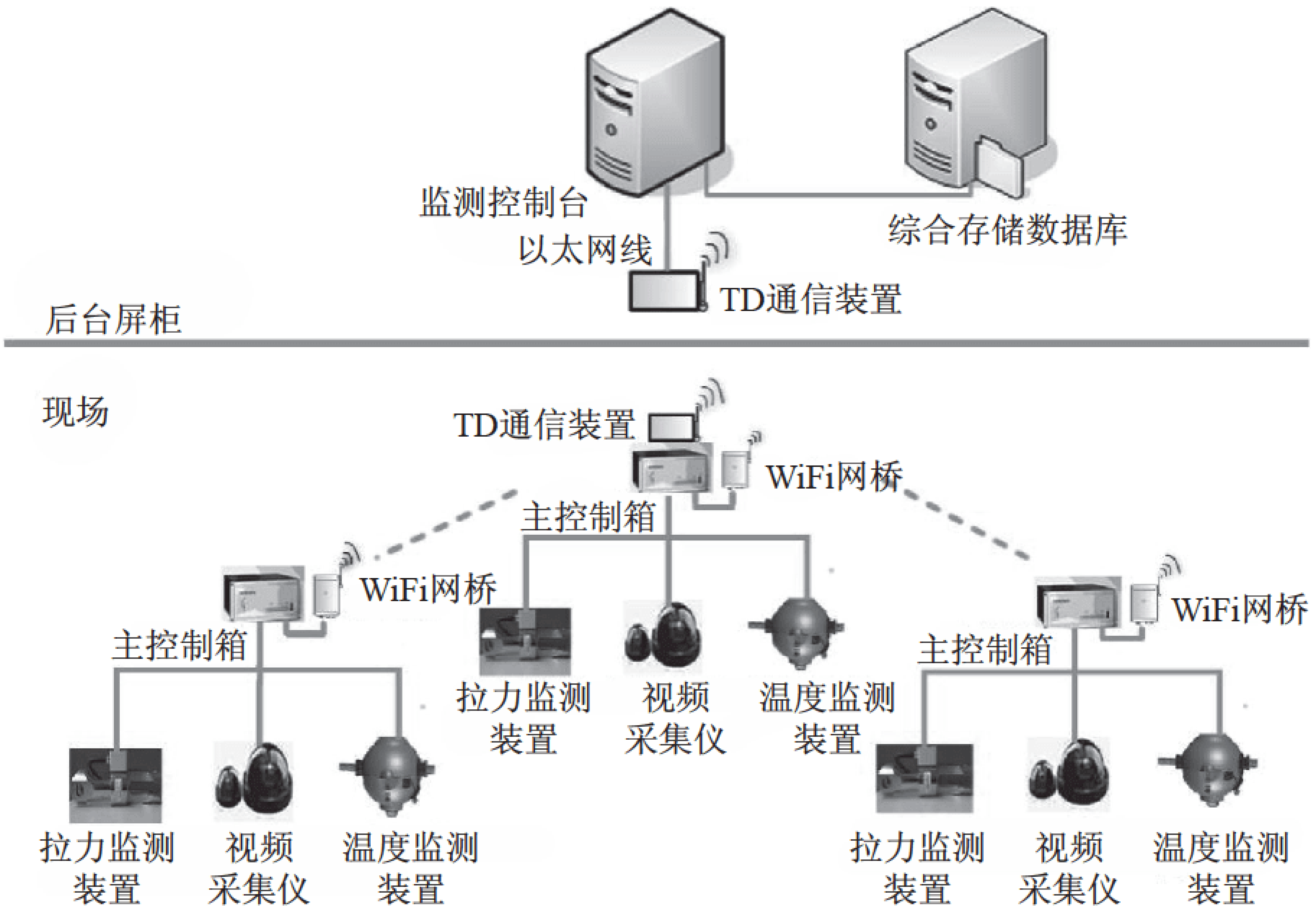


图 9-17　输电线路在线监测系统网络结构图

3. 工程实施

在具体实施阶段，结合监测杆塔实际自然条件与监测需求进行设备安装。主控制箱与蓄电池箱体积与重量较大，通过 U 形箍安装于杆塔横担的中间部位，横担两侧安装为蓄电池充电的太阳电池板，太阳能电池板的三脚架通过抱箍固定在横担两侧。视频采集仪安装于杆塔顶端横担中间处，最大程度地增加可视面积。视频采集仪通过线缆与塔上主控制箱连接，并通过主控制箱获取工作电源。输电线路温度监测装置安装于绝缘子导线端的导线上，通过感应取电方式获取工作电源。拉力传感器与倾角传感器安装于绝缘子串的顶端与杆塔横担交联处，传感器安装在与太阳能板正面方向一侧，取代同侧两个 U 形挂环，通过主控制箱获取工作电源。数据集中网关安装于控制箱内单板上，通过线缆连接从主控制箱获取工作电源。塔上监测装置分布如图 9-18 所示。

在同一塔上，视频监测装置、导线温度监测装置以及拉力倾角监测装置汇聚监测信息于主控制箱内交换机，交换机通过 WiFi 无线网桥与其他铁塔上的 WiFi 无线网桥构成局域无线网络。根据现场自然条件以及 WiFi 无线网桥的通信能力分别在程徐线 28#、

39#、44# 杆塔安装 WiFi 全向内线，其他铁塔上 WiFi 无线网桥装有定向天线，定向天线朝向具有全向天线的杆塔。装有全向天线的铁塔上装有 TD-SCDMA 通信装置，汇聚附近铁塔的监测信息并发送至程家变电站监测后台。站内监测后通过 TD-SCDMA 通信装置、WiFi 无线局域网络控制与问询输电线路在线监测装置的工作状态以及监测数据。

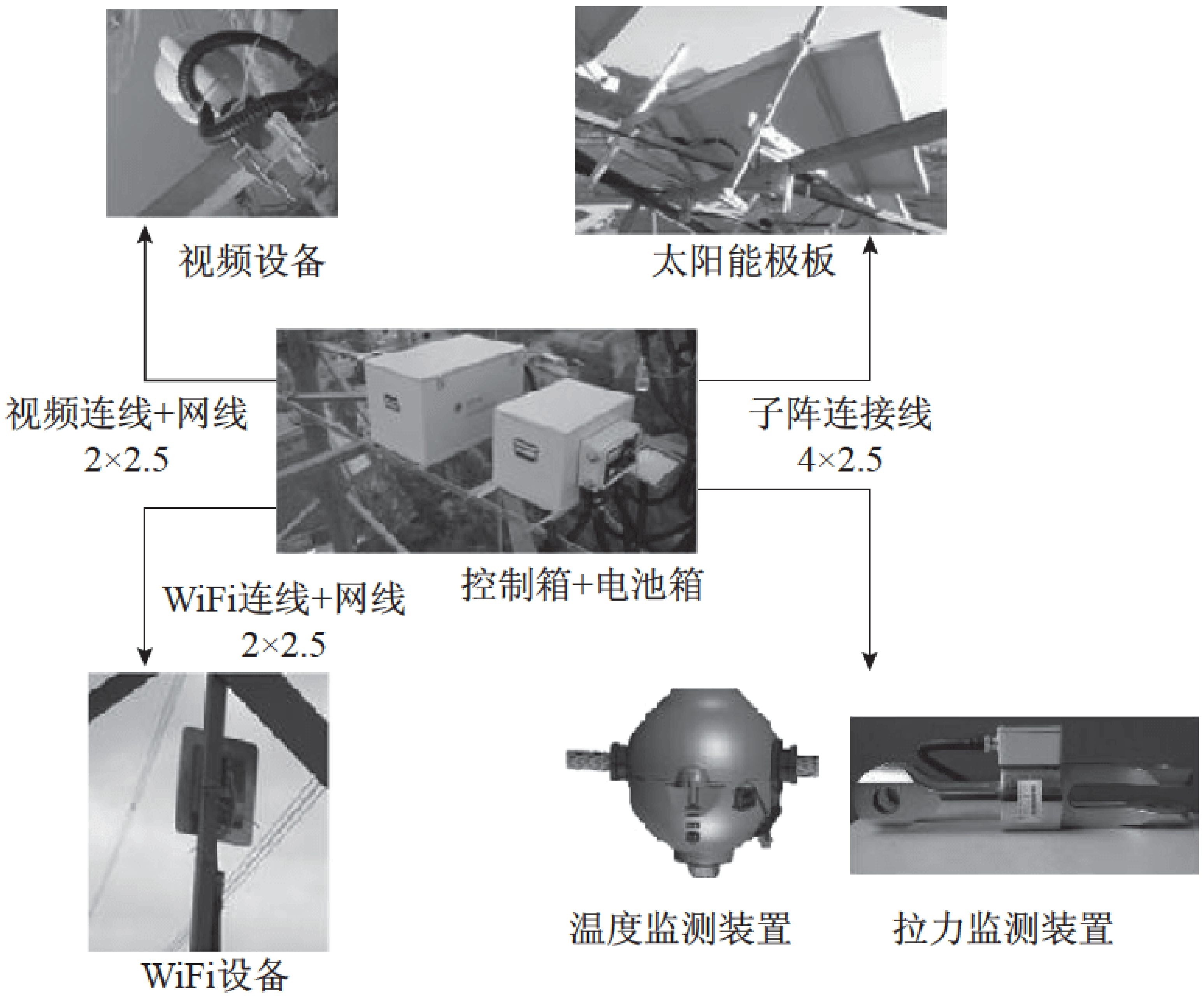


图 9-18　塔上监测装置分布图

鉴于程徐线—渭卧线输电线路沿线杆塔多建立于山顶或半山坡，塔与塔之间间隔较大，挡距平均为 800 ～ 1000m，个别间隔挡距大于 1000m，选择了高空无遮挡条件下通信距离较远的、传输数据率较大的 WiFi 无线网桥构建局部 WiFi 无线网络，汇集局部杆塔上在线监测装置采集的数据信息。

鉴于杆塔档距间间隔较大，山中空气湿度较大，WiFi 天线输出能力会受自然条件的影响，通信效果有所降低，选取了集大功率无线 AP 与网桥一体的 WL-M 系列 WiFi 无线网桥构建高速传感器网络。WL-M 无线网桥遵循 IEEE 802.11G/N 标准协议，具有 64MB SDRAM 与 16MB Flash，频率类型为 Direct Sequence Spread Spectrum OFDM，工作频率为 2312 ～ 2732MHz。WiFi 天线输出功率为 30dBm，输出数率最高可能 150MB，接收灵敏度 -67dBm。工作电源为 12V DC，可工作于 -40 ～ 70℃的温度下。

WiFi 无线网桥通过 8 芯以太网线与主控制箱内的交换机及控制器连接，获取工作电源及输出数据。WiFi 无线通信网络可通过站内监测后台配置 IP 信息，并为局域网内其他监测设备以及主控制器分配 IP 地址，通过访问不同的 IP 地址访问输电线路沿线杆塔上的监测设备。站内监测后台也可以通过由 TD-SCDMA 网络、WiFi 无线网络以及短距离无线传感器网络组成的综合监测网络控制监测装置采集数据信息、配置工作参数等。

输电线路视频监测装置主要包括视频采集器、主控制箱、蓄电池组、太阳能电池板、WiFi 天线、安装配电及支架。在本次示范工程中，由于视频监测装置功耗高，工作频率较大，观察结果直观，用途广泛，因此为其配置了太阳能蓄电池组供电电源，并设计了太阳能蓄电池控制器，最大限度延长视频监测装置的工作寿命。视频监测装置安装于塔上顶层横担的中间位置，用于监测输电铁塔附近的环境信息、铁塔与线路的覆冰情况以及杆塔倾斜情况。在山区内人员活动频繁的区域可以监测是否有人为破坏电力设备的情况或因树木生长过快触及输电线路而造成接地等事故。在工程施工地段，可以观测施工设备及人员操作与输电线路杆塔及导线的距离是否满足安全距离。

视频设备安装于杆塔顶端横担，通过支架固定，最大限度地增加可视面积。视频监测装置通过耐磨等级高的屏蔽线缆与塔上主控制箱连接，安装线缆沿铁塔走线并进行加固，以防风吹日晒至磨损，甚至断裂。视频采集仪安装前与线缆接好，然后将视频采集仪及支架吊上塔，选定安装位置后固定好支架并拧紧螺丝。

图 9-19　视频装置安装图

主控制箱与电池箱通过两根长角钢固定在杆塔横担上。两根长角钢两端用 U 形箍固定好，通过有航空插头的线缆连接电池柜与控制柜之间的线缆，拧紧接头，裹上防水胶带，如图 9-20 所示。

图 9-20　主控制箱与蓄电池箱安装图

针对山区自然条件恶劣的实际情况，对主控制箱内的控制器进行了设计改造，提

高了系统稳定性，延长了输电线路的使用寿命。另外，结合监测类别重叠的杆塔上导线温度监测装置与拉力倾角监测装置工作电源需求，提高了主控制箱电源供给能力以及蓄电池组存储能力。控制器增设了多个电源接口，为导线温度监测装置及拉力倾角监测装置提供工作电源，并增设通信接口，便于数据输出及在线调试。控制器可以与塔上通信设备进行多口连接（控制器上的通信端口有 RS-485、以太网口），控制器通过以太网线连接交换机，再通过塔上 WiFi 无线网桥以及 TD-SCDMA 通信设备与监控中心进行通信，从而实现对供电设备的遥调、遥信、遥测、遥控功能。监控服务器可以实时监控塔上供电系统的运行状况，如太阳能极板发电情况、蓄电池容量、系统电压、系统电流等，还可以监测视频采集仪以及数据集中网关、拉力传感器与倾角传感器、数据采集板等装置的用电状态。监控服务器也可以通过无线网络控制以上监测装置的运行与关闭。

太阳能电池板与控制箱安装在同一横担上，通过三脚架及抱箍安装在横担的两侧，朝南固定，尽量控制在 40°～45° 仰角之间。太阳能电池板接线盒通过套有蛇皮管的线缆与主控制箱连接，由主控制箱的控制电池板为蓄电池组充电方式。太阳能电池板安装时要注意结合当地阳光照射轨迹，最大限度提高采光时间及采光利用率。由于示范工作实施地点空气湿度较大，雾气缭绕，阳光照射不足，因此选取了发电功率较大的太阳能电池板，满足在阳光照射不足条件下蓄电池的充电需求。太阳能电池板安装如图 9-21 所示。

图 9-21　太阳能电池板安装图

输电线路导线温度监测装置安装在绝缘子固定导线端的导线上，采用电磁感应原理通过感应方式获取工作电源。当监测线路负荷电流大于 40A 时，感应取电装置可以为监测设备提供稳定的工作电源，监测设备可以正常工作。导线温度监测装置在模型结构设计上采用球形流体外形设计。一方面能够最大限度减小输电导线上的空气阻力，另一方面可以避免装置外形出现棱角及尖端，在高电压大电流条件下产生尖峰放电和电晕现象。模型装置防护等级 IP66，符合工业应用标准，适合应用于恶劣的自然环境下。监测装置内开合面设计的外延传感器探头采用双层屏蔽线包裹，确保采集信号的完整性。研制过程中设计了半开合式球型结构，安装时将球型装置上半球打开，取出感应线圈上半部分，

将温度传感器分别固定于两边内侧的半圆形夹具卡到导线上，使导线与传感器紧密接触，将感应线圈插入槽内，与下端感应线圈构成闭合式回环，最大限度增加线圈中磁通，提高感应取电效果。扣上半部球体，使导线从球体内线槽中穿过，球体两侧出线端采用橡皮胶圈封死，保证球体内与外界的完全隔离。安装时将导线温度监测装置下侧有天线的一端朝向塔上主控制箱，提高短距离无线通信的可靠性，导线温度监测装置安装灵活方便，工程量小。输电线路导线温度监测装置安装如图 9-22 所示。

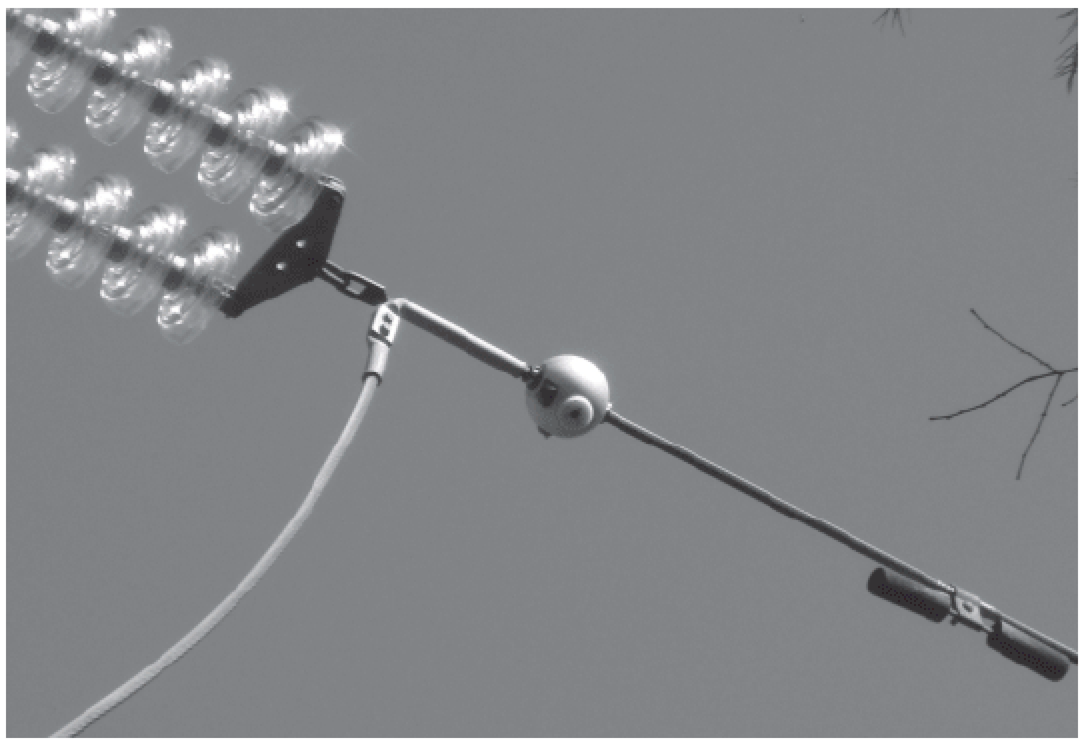


图 9-22　输电线路导线温度监测装置图

温度监测装置通过 WIA 短距离无线方式将采集的温度信息发送至塔上主控制箱内的数据网关内。温度监测装置默认每两分钟采集一次线路温度信息，上传至数据集中网关。数据集中网关通过以太网线与交换机连接，经塔上 WiFi 无线网桥与具有全向天线铁塔上的 WiFi 设备通信，并通过该铁塔上的 TD-SCDMA 设备与站内后台服务器通信。后台服务器根据输电线路导线温度监测装置采集的温度信息分析监测线路的导线负荷，进一步分析该段输电线路导线弧垂状况。线路温度监测装置可以结合拉力倾角监测装置与视频监测装置对该段线路进行综合监测分析。当线路温度监测装置监测某挡距内导线温度过高时，可通过该挡距的拉力与倾角监测装置估算该挡距弧垂，也可以控制该挡距的视频监测装置采集该挡距的导线视频图片信息。后台服务器也可以通过 TD-SCDMA 与 WiFi 无线网络远端控制导线温度装置的采集周期，设定线路温度监测装置的报警阈值。

拉力传感器与倾角传感器安装在绝缘子串的顶端与杆塔横担交联处，取代同侧两个 U 形挂环集监测挡距导线的拉力与倾角数据，数据集中板安装在拉力传感器附近的杆塔上，汇聚拉力传感器与倾角传感器采集的数据信息。拉力传感器与倾角传感器安装前都经过疲劳测试，在恶劣自然条件下仍然可以正常工作。拉力倾角监测装置安装如图 9-23 所示。

该示范工程在程家变电站安置后台服务器，监测程徐线—渭卧线输电线路沿线铁塔周边环境信息、铁塔与导线的覆冰情况、导线温度情况，预警程徐线—渭卧线输电线路可能发生的自然灾害以及人为事故。

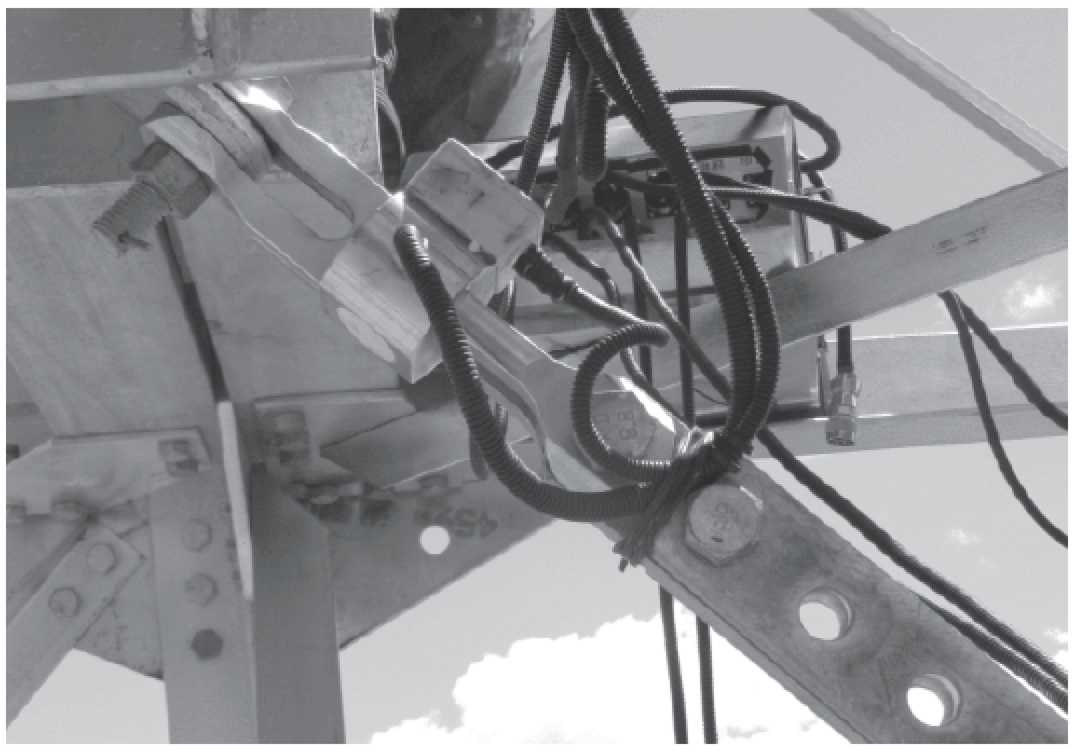


图 9-23 拉力倾角监测装置安装图

智能监测装置可通过选择左侧的监测项目以及监测杆塔编号，调用该监测杆塔的监测信息。例如，选择“导线视频监测”，系统右侧显示的云台控制界面，通过云台可以对预置点、水平转动、俯仰角度、速度、焦距、光圈等进行设置及控制。如果选择其他系统，系统主界面右侧为各功能模块的查询条件显示区。进入主界面，系统默认显示数据查看模块的查询条件，包括精确查询和固定时间段查询。

智能监测平台可以进行远端控制与参数设置，可进行列表查询、日志信息查询以及预警信号查询。智能监测平台可以对采集的数据信息进行建模分析，及时发出预警信号，还可以通过一段时间的历史数据统计分析，预测输电线路的灾害种类及其发生概率。

9.3.2 何家 220kV 智能变电站在线监测示范应用

1. 示范应用概述

后台设在辽宁电科院在线监测中心，由三个子网构成。子网一设于辽宁电科院位在沈阳市虎石台的高压试验场，布设 450 个传感网节点，10 个网关。传感网节点为 470MHz 频段和 2.4GHz 频段两类通信模块。此外，布设 130 个传感器直接连接 TD-SCDMA 宽带接入终端。子网二设在朝阳何家 220kV 智能变电站，布设 420 个传感网节点，20 个网关（连接 20 个 TD-SCDMA 宽带接入终端）。传感网节点分别为变压器铁芯接地、避雷器、SF6 气体、母线连接点温度监测装置。传感网节点实现了变压器铁芯接地电流、GIS 中 SF6 气体、避雷器泄漏电流、母线接连接点温度等状态参数的实时获取和无线传输。子网三设在盘锦南环 220kV 智能变电站，布设了 160 个传感网节点，10 个网关（连接 10 个 TD-SCDMA 宽带接入终端）。传感网节点分别为温湿度传感器、水浸探测器、风速传感器、电子围栏。

2. 系统架构

示范工程的总体结构共分为三层，各监测装置与综合监测单元之间采用 WIA 通信

技术进行数据传输，负责现场各种监测数据的采集；综合监测单元与后台主站的通信由 WiFi 完成，负责现场监测数据与后台主站之间的交互，现场每个综合监测单元都连接一个 WIA 通信网关且带有 WiFi 通信功能，负责完成相应区域的数据采集，并传送给后台主站，变电站现场有多个综合监测单元，组成多个 WIA 通信网络，每个网络具有不同的通信信道和网络 ID，保证各个网络之间不会存在干扰；站内后台主站通过 TD-SCDMA 与远程集控中心相连，实现与省级集控中心一体化信息平台的信息共享。

系统组成结构如图 9-24 所示。

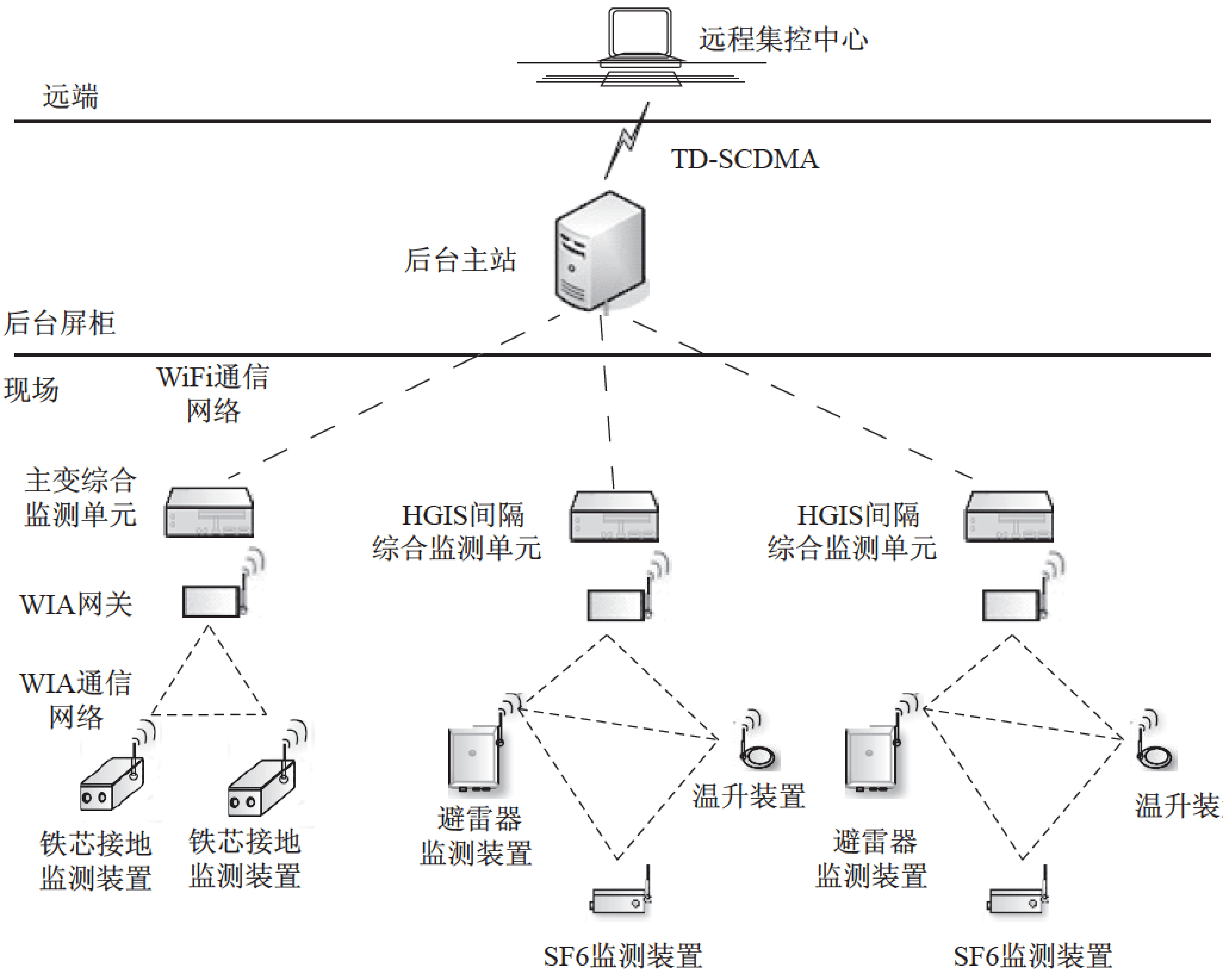


图 9-24　全无线变电站在线监测系统结构

3. 工程实施

母线连接点测温装置采用无线通信方式把 MEMS 测温模块和无线模块集成到一起，实现一体化。体积小的温升监测节点简化了装置本身，也降低了安装维护难度，解决了因监测点电压高、电流强、安装空间狭小等导致的传统的热电阻或热电偶变送器难以完成直接温度测量的问题。该示范工程中，母线测温节点的安装如图 9-25 所示，安装时采用直角安装夹具，夹具以垫片的方式固定在接线排螺栓与螺母之间，温升监测节点本体附贴在接线排侧平面上，底部传感器与接线排直接接触。

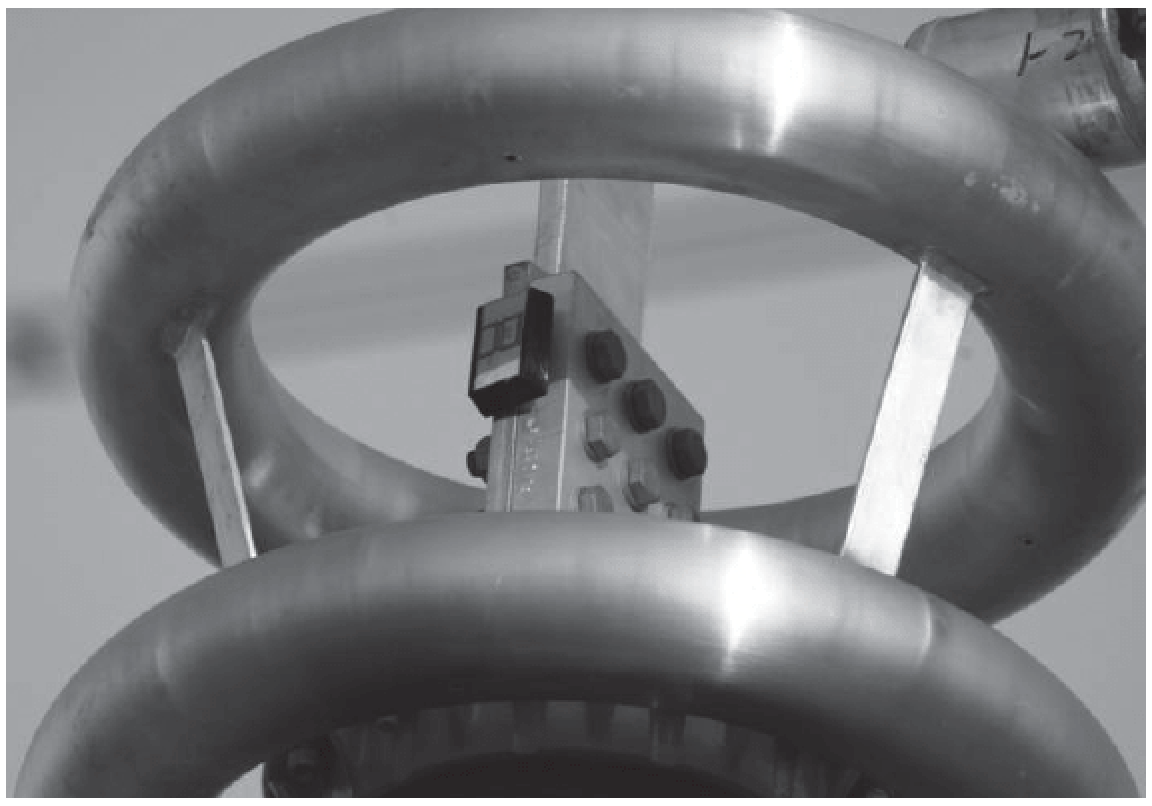


图 9-25　母线测温节点安装图

避雷器监测装置如果采用传统的有线通信方式，则在建站之前就需要对现场电源线和通信线进行布线规划，明确电缆槽的走向和分布，安装过程中，拉线和接线的工作更是繁复，很容易出现线路接错的情况，工作量大，成本高。采用无线通信方式能够有效地解决这些问题。无线避雷器在线监测装置集成了 WIA 无线通信模块，将装置本体测量的数据通过无线传输到现场的综合监测单元，综合监测单元把接收到的数据通过 WiFi 直接传输到后台，后台可显示各监测装置所测量避雷器的泄漏电流、阻性电流、动作次数的数值，如果发生超限报警，后台可以立即显示报警信息。如图 9-26 所示为何家现场 66kV 侧 1 号主变 B 相避雷器监测装置示意图。

图 9-26　1 号主变 B 相避雷器在线监测装置

由于避雷器绝缘在线监测装置功耗较低，因此采用太阳能板供电的方式提供能量供给。由于只有直流负载，而且负载功率比较小，因此所使用的光伏供电系统属于小型光伏供电系统。整个系统结构简单，操作简便，现场安装情况如图 9-27 所示。

图 9-27　太阳能供电系统现场安装图

铁芯接地电流监测装置集成了 WIA 无线通信模块，在全站与综合监测单元全部采用无线通信方式，避免了安装过程中繁复的拉线和接线的工作，提高了工作效率，降低了成本和出错的概率。监测装置通过无线通信模块将变压器铁芯接地电流、夹件接地电流的实时数据和实时时间定时传输给综合监测单元。一旦铁芯接地电流和夹件接地电流数据超出设定的报警值，监测装置和综合监测单元将进行报警提示。装置现场安装效果如图 9-28 所示。

SF6 气体状态监测装置同样集成了 WIA 无线通信模块，将检测到的微水密度和温度值通过无线方式实时发送到综合监测单元，采用无线传输数据可以大大降低由引线串入的干扰信号对传输信号的影响，提高测量结果的准确性和可靠性。由综合监测单元通过 WiFi 传送给后台主站进行分和处理，得出测定结果。装置现场安装效果如图 9-29 所示。

图 9-28　铁芯接地监测装置现场安装图

图 9-29　SF6 气体状态监测装置现场安装图

WIA 网关是连接 WIA 网络和 WiFi 网络的关键节点，是何家 220kV 智能变电站状态监测系统全无线通信的关键设备。WIA 网关通过以太网与综合监测单元通信，具备信息聚合、处理、信息选择分发等功能，最大支持 1000 个节点以上的组网。同时，WIA 网关支持 RS-232、RS-485、USB 等接口与本地计算机相连，方便现场配置。

无线通信网关机与综合监测单元配对使用，和综合监测单元一起部署于智能控制柜

内，现场安装效果如图 9-30 所示。无线通信网关机通过 WIA 网络与预配置接入本网关的避雷器监测装置、SF6 密度微水监测装置、铁芯接地电流监测装置、母线测温监测装置通信，首先将采集到的状态监测数据上报给综合监测单元，再通过 WiFi 发送给后台主站。WIA 网关机在何家 220kV 智能变电站状态监测系统的应用确保了状态监测系统全无线通信的稳定性和可靠性。

图 9-30　WIA 网关现场安装图

站内后台主站支持站内专用光纤和宽带移动通信网络接入能力，可连接 TD-SCDMA 网络接入终端，能够实现与远程集控中心的数据共享。同时，后台主站上运行在线监测系统软件，软件采用 B/S 应用体系结构，支持用户权限管理，实时数据 / 历史数据查询、监测数据图形曲线展示、报警信息查询、报警短信提醒、设备实时状态显示、日志信息查询、监测设备综合统计分析和设备故障诊断等功能。

9.3.3　配电线路物联网系统在线示范应用

1. 示范应用概述

经过调研发现配电线路的接地短路故障定位、负荷监测应用能较好地体现无线传感网与移动通信网的作用，因此示范应用主要围绕接地短路故障定位、负荷监测展开。该示范工程分为两个子网。子网一设在沈阳市沈北新区，在虎石台镇安装试运行了 150 个故障指示传感器节点，10 个传感网网关设备和 TD-SCDMA/SCDMA 宽带接入网终端。子网二设在沈阳市皇姑区，安装了 920 个故障指示传感器节点，40 个传感网网关设备和 TD-SCDMA/SCDMA 宽带接入网终端，基本覆盖了沈阳市皇姑区的主体线路和所有分支线路。以上示范应用传感网节点规模为 1070 点，传感网网关设备和 TD-SCDMA/SCDMA 宽带接入网终端 50 个，充分验证了传感网技术结合 TD-SCDMA/SCDMA 移动通信网络用于配电自动化的可行性。

2. 系统架构

配电网故障指示系统组成结构如图 9-31 所示。

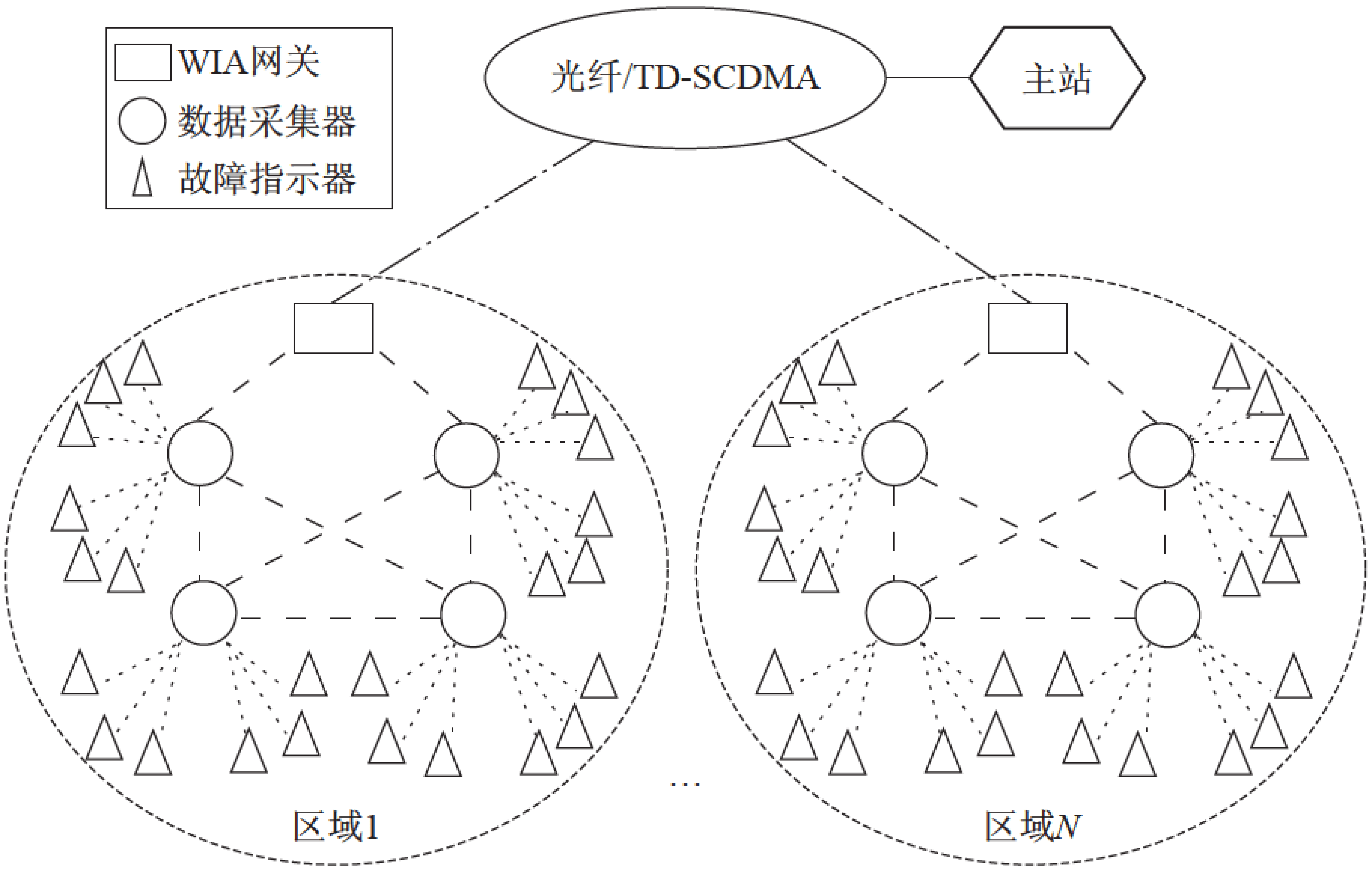


图 9-31　配电网故障指示系统总体结构

本系统由故障指示器、数据采集器、WIA 网关、通信网络及远程主站构成。在传统的故障指示系统基础上，增加一层 WIA 通信网络，即在数据采集器中嵌入 WIA 无线通信模块，多个数据采集器和网关设备共同组成 WIA 通信网络。

本系统的整体通信网络呈“簇 - 网”结构。多个故障指示器与数据采集器组成星形结构，形成一个簇。故障指示器可看作是簇成员，数据采集器是簇首，因簇内各节点分布集中，通信距离较短，所以故障指示器到数据采集器之间仍然采用传统的无路由协议的短距离无线通信；每个簇的簇首（即数据采集器）之间采用多跳自组织组网，形成 WIA 网络，完成一个区域内多个数据采集器之间的数据传递；WIA 网关负责统一管理一个区域内的数据，通过光纤或者 TD-SCDMA 与远程主站交互。

3. 工程实施

该示范工程基本覆盖了沈阳市皇姑区文南干和文北干线路的主干线路和所有分支线路，共布置了 1000 点的故障指示器设备和 50 个网关设备，部分安装线路如图 9-32 和图 9-33 所示。

图 9-32　文南干安装线路图

图 9-33　文北干安装线路图

故障指示器安装在配电网线路上，能够实时监测线路的负荷电流、接地和短路故障，支持本地故障翻牌警示功能，通过无线通信模块将数据信息发送给附近的数据采集器。故障指示器以组为单位，一组分 A、B、C 三相，分别挂在线路的三相上，主干线上每隔 200m 安装一组故障指示器，所有的分支线分支处安装一组故障指示器。设备的现场安装情况如图 9-34 所示。

图 9-34 故障指示器现场安装图

数据采集器即故障指示系统的中继器，具有数据采集和网络中继双重功能，数据采集器安装在电线杆塔上，由太阳能电池板提供电源，现场安装情况如图 9-35 所示。

图 9-35 数据采集器现场安装图

网关设备需要外接电源，所以安装在变台附近，根据现场实际的应用情况，如果主干网铺设有光纤，则通过光纤接入，否则通过 TD-SCDMA 接入的方式与远程通信。网关具有汇聚数据与远传数据的功能，同时网关具有管理无线网络的功能。该示范工程中，一个网关设备可形成规模达 500 点以上的无线通信网络，并负责本网络内的维护和管理。网关设备的现场安装情况如图 9-36 所示。

图 9-36　网关设备现场安装图

远程主站安装在供电局内，由服务器、短信猫和主站软件组成，主要功能是用来实时监测配电网络状态和故障，自动确定故障位置，并通过短信息通知检修工人，便于电路的维护和事故抢修。

9.3.4　电力营销信息物联网系统在线示范应用

1. 示范应用概述

示范工程的后台系统为沈阳供电局电力营销系统，分为两个子网。子网一设在沈阳市铁西区金三角小区，覆盖 508 户低压终端用户。子网二设在沈阳市沈北新区，覆盖 15000 户智能电表。示范应用结合无线传感器网络和宽带无线通信技术实现用户电表终端和电业局之间的双向通信。以上两个子网已形成了规模超过 15000 户的示范应用。

该示范工程的核心技术是 WIA 无线抄表通信协议以及与宽带无线网络的结合。针对电能表无线抄表的特点，开发了适用于电能智能抄表系统的低功耗无线传感器网络通信协议，用于集中器到电能表终端的双向数据通信；该通信协议支持无线节点的自主组网，具备全 Mesh 路由功能，以多跳的方式实现无线节点间的通信，支持大规模组网，可实现可靠、实时的数据传输。抄表网络中的任何节点，都可以通过其他节点建立与集中器的通信路径，并且可以根据当前的通信链路质量选择最好的通信路径。网络中的任何节点出现问题（掉电），不会影响网络中其他节点的通信，因此网络具有较强的抗毁性，通信可靠性高。

用电信息采集系统的网络规模较大，小区中一台集中器可能同时管理几百个无线节点。由于节点分布密集，当集中器集中读取数据时，存在网络中大量节点同时向集中器发送数据的情况，造成数据冲突比较严重。针对这种情况，该示范应用采用一种低开销

的大规模并发冲突避免机制。网络以自组织方式工作，在逻辑上将一个大规模的无线传感器网络划分为多个层次，降低每个层次上节点的规模，从而达到降低通信冲突的目的。

WIA 无线抄表通信协议确保了集中器到用户终端的通信的可靠性和实时性。集中器到电力系统后台服务器的通信采用 TD-SCDMA 宽带无线接入技术，保证上行数据的可靠性和实时性。此外，集中器的上行通信还支持以太网、McWill 宽带无线、GPRS 接口，有效解决公网 3G 信号覆盖不全的问题。WIA 无线抄表通信协议以及与宽带无线网络技术相结合，共同保证了用户终端和电力系统后台服务器之间通信的可靠性和实时性。

智能抄表网络具备自组织和自愈功能。自组织是指无须人工干预，网络节点能够感知其他节点的存在，并确定连接关系，组成结构化的网络。自愈功能是指增加或者删除一个节点、节点位置发生变动、节点发生故障时，网络都能够自我修复，并对网络拓扑机构进行响应，无须人工干预，保证整个系统仍然能正常工作。

WIA 无线通信协议支持多跳通信，相对于传统的点对点抄收，通信的范围得以大大扩展。由于采用的是无线技术，安装调试人员在无线范围内的任何地方都可以进行调试或抄读。

抄表应用覆盖的终端数量大，要求有大容量的网络以节约网络设备的成本并简化运行维护的难度。WIA 无线抄表网络可支持超过 500 个节点，不受台区限制，一个区域内可以同时存在多个网络。沈北新区示范应用的网络规模最大达到 700 点。

示范应用所涉及的公共计量系统对网络的安全性要求较高，数据传输必须经过加密。WIA 无线通信协议提供了数据完整性检查和鉴权功能。集中器的上行通信采用安全性能更高的 3G 宽带无线通信技术。

远程抄表系统具有计量准确、通信可靠、实时性高、抄表方便、功耗低的优点，具有节省人力、远程监控、远程维护的功能，符合未来智能电网的发展要求。

2. 系统架构

整个电能智能抄表系统的示意图如图 9-37 所示。

电能无线远程抄表系统由后台管理中心（主站）、集中器、采集器、具有无线通信功能的智能电表组成。后台管理中心为电业局的数据中心，负责电能数据的最终汇总和处理。集中器安装在小区变台，完成对抄表网络控制、抄表命令转发和抄表数据上传。集中器具有上行和下行数据通信能力，其中上行数据可采用宽带无线（TD-SCDMA、McWill 等）、GPRS、以太网等通信网络，管理中心可以通过宽带无线网络 TD-SCDMA 或者 GPRS 无线网络实现控制指令的下传，电能表数据也可以通过宽带无线网络 TD-SCDMA 或者 GPRS 无线网络进行上传；下行数据采用自主开发的 WIA 无线通信协议。采集器负责电能表数据的现场采集，并通过 WIA 无线通信协议将数据传输给集中器。一台采集器可以通过 RS485 总线连接多台电能表。路由器的作用是拓展 WIA 无线通信网络的覆盖范围，可以根据现场情况决定是否安装。无线通信模块安装在电能表内部，使电能表具备无线通信能力，适合与分散式电能表抄表。

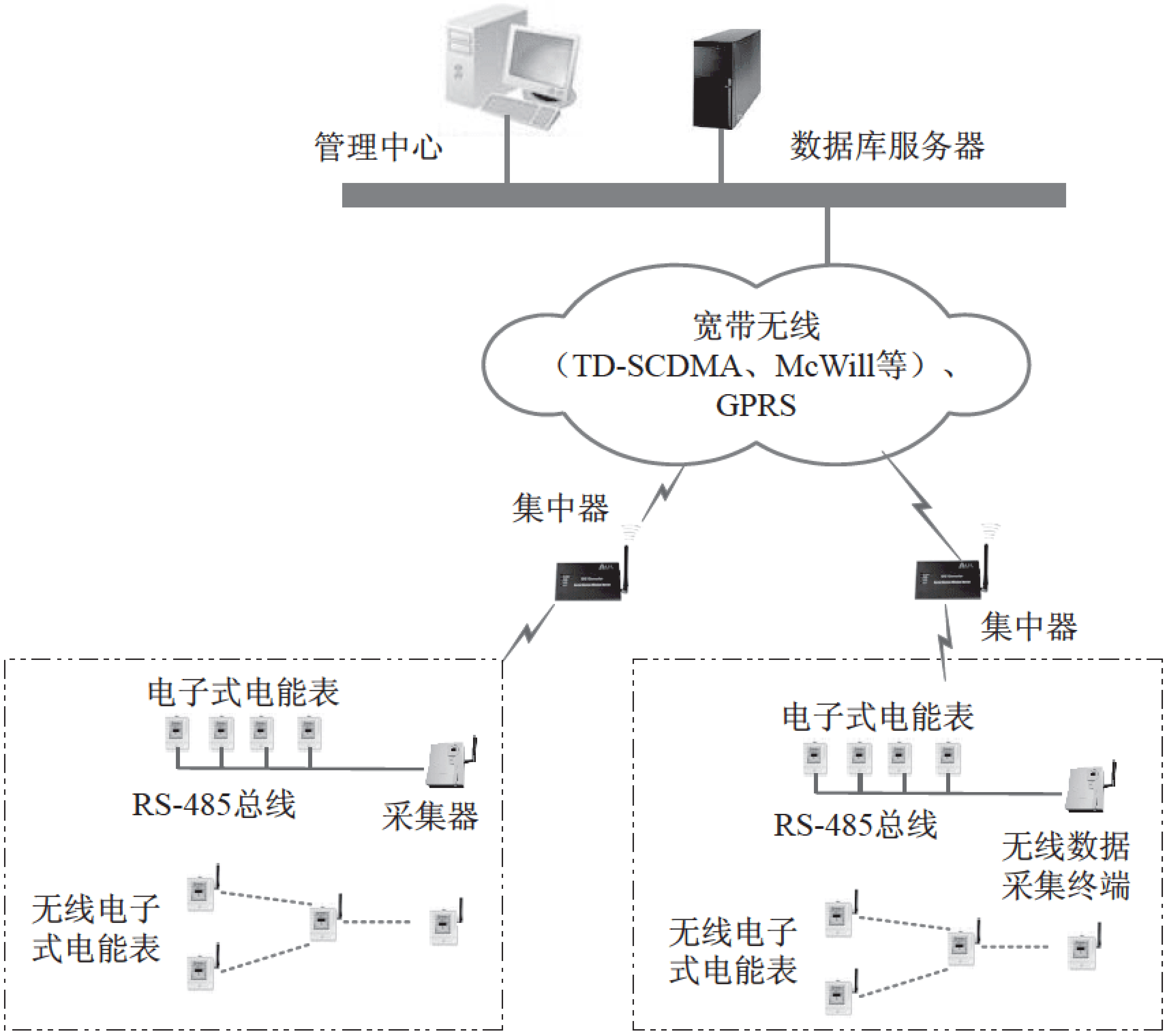


图 9-37　电能智能抄表系统的示意图

3. 工程实施

1）铁西金三角小区示范应用

2010 年 11 月 8 日，在沈阳市铁西区金三角小区开始建设第一期无线抄表示范应用。该示范应用安装了 508 块具有无线通信功能的智能电表，覆盖 508 户低压用户。由于该小区之前安装的为老式电能表，此次示范应用中全部更换为带有无线抄表模块的智能电能表，采用全无线解决方案。该示范应用装有两台集中器，分别管理 144 户和 364 户，集中器分别安装在两个变压器台上。沈阳供电公司在铁西区建立了宽带无线专网，用于电力用户用电信息采集系统。该专网采用的宽带无线技术为 McWill，为了方便接入用电信息采集系统，集中器上行通信采用 McWill 宽带无线接口。金三角小区负荷电流曲线图如图 9-38 所示。智能电表如图 9-39 所示。

系统安装运行后，可以在“电力用户用电信息采集系统”中查询运行情况，并可以对用户用电情况进行分析。

图 9-38　金三角小区负荷电流曲线图

图 9-39　智能电表

2）沈北新区示范应用

2012 年 10 月底，在沈阳市沈北新区开始第二期示范应用实施工作，包括云峰小区、福宁小区、福兴小区等，覆盖近 15000 户低压终端用户，共安装 62 台集中器，每台集中器覆盖规模从几十到近千台智能电表不等。该示范应用的覆盖范围主要集中在沈阳市沈北新区南起常州路，北至杭州路北侧，东起虎石台北大街，西到飞马街的区域。

本期示范应用所涉及的低压单相用户统一更换了带有无线抄表模块的新型智能电能表，而三相表用户没有更换原有电能表，采用连接采集器的方式接入无线抄表系统。由于沈北新区没有建立宽带无线专网，集中器上行通信接口部分采用 TD-SCDMA 3G 公网接入方式，部分台区所在的地理位置无 TD-SCDMA 网络覆盖，采用 GPRS 作为上行通道。

第 10 章

电力人工智能物联网工程技术与应用

人工智能物联网工程技术基本概念、电力人工智能物联网工程技术、我国人工智能应用与生态发展分析、新一代人工智能技术国家发展战略、新时期人工智能发展重点任务及人工智能技术关键领域、电力人工智能物联网应用技术展望是本章重点介绍的内容。

10.1 电力人工智能物联网工程技术基本原理

人工智能物联网工程技术基本概念、电力人工智能物联网工程技术与应用分析、我国人工智能应用与生态发展分析是本节介绍的主要内容。

10.1.1 人工智能物联网工程技术基本概念

1. 人工智能基本概念

人工智能（Artificial Intelligence，AI）是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器，该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。人工智能从诞生以来，理论和技术日益成熟，应用领域也不断扩大，可以设想，未来人工智能带来的科技产品，将会是人类智慧的“容器”。人工智能是对人的意识、思维的信息过程的模拟。人工智能不是人的智能，但能像人那样思考，也可能超过人的智能。

著名的美国斯坦福大学人工智能研究中心的尼尔逊教授对人工智能下了这样一个定义：“人工智能是关于知识的学科——怎样表示知识以及怎样获得知识并使用知识的科学。”美国麻省理工学院的温斯顿教授认为：“人工智能就是研究如何使计算机去做过去只有人才能做的智能工作。”这些说法反映了人工智能学科的基本思想和基本内容。人工智能是研究人类智能活动的规律，构造具有一定智能的人工系统，研究如何让计算机去完成以往需要人的智力才能胜任的工作，也就是研究如何应用计算机的软硬件来模拟人类某些智能行为的基本理论、方法和技术。

人工智能被称为 20 世纪 70 年代以来世界三大尖端技术之一（空间技术、能源技术、人工智能），也被认为是 21 世纪三大尖端技术（基因工程、纳米科学、人工智能）之一。这是因为近三十年来它获得了迅速的发展，在很多学科领域都获得了广泛应用，并取得了丰硕的成果，人工智能已逐步成为一个独立的分支，无论在理论和实践上都已自成一个系统。

人工智能研究使计算机来模拟人的某些思维过程和智能行为（如学习、推理、思考、规划等），主要包括计算机实现智能的原理，制造类似于人脑智能的计算机，使计算机能实现更高层次的应用。人工智能将涉及计算机科学、心理学、哲学和语言学等学科，可以说几乎是自然科学和社会科学的所有学科，其范围已远远超出了计算机科学的范畴。人工智能与思维科学的关系是实践和理论的关系，人工智能处于思维科学的技术应用层次，是它的一个应用分支。从思维观点看，人工智能不仅限于逻辑思维，要考虑形象思维、灵感思维，才能促进人工智能的突破性发展。数学常被认为是多种学科的基础科学，数学也进入语言、思维领域，人工智能学科也必须借用数学工具。数学不仅在标准逻辑、模糊数学等范围发挥作用，数学进入人工智能学科后，它们将互相促进，更快地发展。

2. 新一代人工智能的主要驱动因素

随着移动互联网、大数据、云计算等新兴代信息技术的加速迭代演进，人类社会与物理世界的二元结构正在进阶到人类社会、信息空间和物理世界的三元结构，人与人、机器与机器、人与机器的交流互动愈加频繁。人工智能发展所处的信息环境和数据基础发生了深刻变化，愈加海量化的数据、持续提升的运算力、不断优化的算法模型、结合多种场景的新应用已构成相对完整的闭环，成为推动新一代人工智能发展的四大要素。

1）人机物互联互通成趋势，数据量呈现爆炸性增长

近年来，得益于互联网、社交媒体、移动设备和传感器的大量普及，全球产生并存储的数据量急剧增加，为通过深度学习的方法来训练人工智能提供了良好的土壤。目前，全球数据总量每年都以倍增的速度增长，预计到2020年将达到44万亿字节，中国产生的数据量将占全球数据总量的近20%。海量的数据将为人工智能算法模型提供源源不断的素材，人工智能正从监督式学习向无监督学习演进升级，从各行业、各领域的海量数据中积累经验、发现规律、持续提升。

2）数据处理技术加速演进，运算能力实现大幅提升

人工智能领域富集了海量数据，传统的数据处理技术难以满足高强度、高频次的处理需求。人工智能芯片的出现加速了深层神经网络的训练迭代速度，让大规模的数据处理的效率显著提升，极大地促进了人工智能行业的发展。目前，出现了GPU、NPU、FPGA和各种各样的AI-PU专用芯片。相比传统的CPU只能同时做一两个加减法运算，NPU等专用芯片多采用“数据驱动并行计算”的架构，特别擅长处理视频、图像类的海量多媒体数据。在具有更高线性代数运算效率的同时，只产生比CPU更低的功耗。

3）深度学习研究成果卓著，带动算法模型持续优化

2006年，加拿大多伦多大学教授杰弗里·辛顿提出了深度学习的概念，极大地发展了人工神经网络算法，提高了机器自学习的能力。例如，谷歌大脑团队在2012年通过使用深度学习技术，成功让电脑从视频中“认出”了猫。随着算法模型的重要性进一步凸显，全球科技巨头纷纷加大了这方面的布局力度和投入，通过成立实验室，开源算法框架，打造生态体系等方式推动算法模型的优化和创新。目前，深度学习等算法已经

广泛应用在自然语言处理、语音处理以及计算机视觉等领域，并在某些特定领域取得了突破性进展，从有监督式学习演化为半监督式、无监督式学习。

4）资本与技术深度耦合，助推行业应用快速兴起

当前，在技术突破和应用需求的双重驱动下，人工智能技术已走出实验室，加速向产业各个领域渗透，产业化水平大幅提升。在此过程中，资本作为产业发展的加速器发挥了重要的作用。一方面，跨国科技巨头以资本为杠杆，展开投资并购活动，得以不断完善产业链布局；另一方面，各类资本对初创型企业的支持，使得优秀的技术型公司迅速脱颖而出。据美国技术研究公司 Venture Scanner 的调查报告显示，截至 2017 年 12 月，全球范围内总计 2075 家与人工智能技术有关的公司的融资总额达到 65 亿美元。同时，美国行业研究公司 CB Insight 公布了对美国人工智能初创企业的调查结果，这类企业的融资金额约是 2012 年的 10 倍。目前，人工智能已在智能机器人、无人机、金融、医疗、安防、驾驶、搜索、教育等领域得到了较为广泛的应用。

3. 新一代人工智能主要发展特征

在数据、运算能力、算法模型、多元应用的共同驱动下，人工智能的定义正从用计算机模拟人类智能演进到协助引导提升人类智能，通过推动机器、人与网络相互连接融合，更为密切地融入人类生产生活，从辅助性设备和工具进化为协同互动的助手和伙伴。

1）大数据成为人工智能持续快速发展的基石

随着新一代信息技术的快速发展，计算能力、数据处理能力和处理速度实现了大幅提升，机器学习算法快速演进，大数据的价值得以展现。与早期基于推理的人工智能不同，新一代人工智能是由大数据驱动的，通过给定的学习框架，不断根据当前设置及环境信息修改、更新参数，具有高度的自主性。例如，在输入 30 万张人类对弈棋谱并经过 3000 万次的自我对弈后，人工智能 AlphaGo 具备了媲美顶尖棋手的棋力。随着智能终端和传感器的快速普及，海量数据快速累积，基于大数据的人工智能也因此获得了持续快速发展的动力来源。

2）文本、图像、语音等信息实现跨媒体交互

当前，计算机图像识别、语音识别和自然语言处理等技术在准确率及效率方面取得了明显进步，并成功应用在无人驾驶、智能搜索等垂直行业。与此同时，随着互联网、智能终端的不断发展，多媒体数据呈现爆炸式增长，并以网络为载体在用户之间实时、动态传播，文本、图像、语音、视频等信息突破了各自属性的局限，实现跨媒体交互，智能化搜索、个性化推荐的需求进一步释放。未来人工智能将逐步向人类智能靠近，模仿人类综合利用视觉、语言、听觉等感知信息，实现识别、推理、设计、创作、预测等功能。

3）基于网络的群体智能技术开始萌芽

随着互联网、云计算、物联网等新一代信息技术的快速应用，大数据不断累积，深度学习及强化学习等算法不断优化，人工智能研究的焦点，已从单纯用计算机模拟人类

智能，打造具有感知智能及认知智能的单个智能体，向打造多智能体协同的群体智能转变。群体智能充分体现了“通盘考虑、统筹优化”思想，具有去中心化、自愈性强和信息共享高效等优点，相关的群体智能技术已经开始萌芽并成为研究热点。例如，我国研究开发了固定翼无人机智能集群系统，并于2017年6月实现了119架无人机的集群飞行。

4）自主智能系统成为新兴发展方向

在长期以来的人工智能发展历程中，对仿生学的结合和关注始终是其研究的重要方向，如美国军方曾经研制的机器骡以及各国科研机构研制的一系列人形机器人等。但均受技术水平的制约和应用场景的局限，没有在大规模应用推广方面获得显著突破。当前，随着生产制造智能化改造升级的需求日益凸显，通过嵌入智能系统对现有的机械设备进行改造升级成为更加务实的选择，也是中国制造2025、德国工业4.0、美国工业互联网等国家战略的核心举措。在此引导下，自主智能系统正成为人工智能的重要发展及应用方向。例如，沈阳机床以i5智能机床为核心，打造了若干智能工厂，实现了“设备互联、数据互换、过程互动、产业互融”的智能制造模式。

5）人机协同正在催生新型混合智能形态

人类智能在感知、推理、归纳和学习等方面具有机器智能无法比拟的优势，机器智能则在搜索、计算、存储、优化等方面领先于人类智能，两种智能具有很强的互补性。人与计算机协同，互相取长补短将形成一种新的1+1>2的增强型智能，也就是混合智能。这种智能是一种双向闭环系统，既包含人，又包含机器组件。其中，人可以接受机器的信息，机器也可以读取人的信号，两者相互作用，互相促进。在此背景下，人工智能的根本目标已经演进为提高人类智力活动能力，更智能地陪伴人类完成复杂多变的任务。

10.1.2 电力人工智能物联网工程技术与应用

1. 电力系统基本概念

电能是现代社会中最重要、最方便的能源。电能具有许多优点，它可以方便地转化为别种形式的能，例如，机械能、热能、光能、化学能等；它的输送和分配易于实现；它的应用模式也很灵活。因此，电能被极其广泛地应用于农业，交通运输业，商业贸易，通信以及人民的日常生活中。以电作为动力，可以促进工农业生产的机械化和自动化，保证产品质量，大幅度提高劳动生产率。发电厂、输电网、配电网和用电设备连接起来组成一个整体，称之为电力系统。电力系统与其他工业系统相比有着明显的特点，主要有以下几个方面：

（1）结构复杂而庞大。一个现代化的大型电力系统装机容量可达千万千瓦。世界上最大的电力系统装机容量达几亿千瓦，供电距离达几千公里。电力系统中各发电厂内的发电机、个变电站中的母线和变压器、各用户的用电设备等，通过许多条不同电压等级的电力线路结成一个网状结构，不仅结构十分复杂，而且覆盖辽阔的地理区域。

（2）电能不能存储，电能的生产、输送、分配和消费实际上是同时进行的。电力系统中，发电厂在任何时刻发出的功率必须等于该时刻用电设备所需的功率、输送和分配环节中的功率损失之和。

（3）电力系统的暂态过程非常短促。电力系统从一种运行状态到另一种运行状态的过渡极为迅速。

（4）电力系统特别重要，电力系统与国民经济的各部门及人民日常生活有着极为密切的关系，供电的突然然中断会带来严重的后果。

2. 电力物联网人工智能基本定义

电力物联网融合通信、传感、自动化、云计算等技术，在电力生产、输送、变电、配电、高度等各环节，采用各种智能设备和 IP 标准协议，实现相关信息的安全可靠传输处理，从而实现电网运行和企业管理全过程的全景全息感知、互联互通及无缝整合。电力物联网人工智能的本质上是一种提高电力信息可靠性、高效性的控制手段。物联网的核心能力是全面感知、可靠传送、智能处理，这三个方面恰恰也是智能电网一直追求的目标。

随着智能电网的全面建设，物联网人工智能技术在各业务环节得到广泛应用。电力物联网人工智能以电网公司 SG-ERP 信息系统总体架构为基础，包括感知层、网络层和应用层，并且形成了基于统一信息模型、统一通信规约、统一数据服务和统一应用服务的电力物联网人工智能体系架构。其中感知层实现电力生产各环节传感数据的统一感知与表达，建立统一信息模型，规范感知层的数据接入。网络层按照规范化的统一通信规约实现对数据的传送。应用层将多种数据信息统一管理并向外提供统一的数据服务，支撑各类业务应用，基于统一应用服务，开发各类电力物联网应用服务，供其他业务系统调用。

电力物联网人工智能的感知层主要由各种传感识别设备实现信息的采集、识别和汇集。随着电力物联网不断深化应用，日益增多的传感器数量及种类将导致多种传感技术及规范的同时使用，由此导致各种采集数据的数据表达（语义、数据表达格式等）无法统一。因此，需建立传感设备信息交互的统一信息模型，以规范电力物联网应用的建设，指导信息模型及数据接入规范的制定，达到高效的应用集成和数据共享的目的。电力物联网人工智能的统一信息模型以实现传感器信息模型的统一为目标，参照 IEC 61850、IEEE 1451、SensorML 等标准解决传感器语义不统一、数据表达格式不统一等难题。

人工智能物联网技术集脑科学、神经学、信息技术为一体，已广泛运用于多个领域，也是近年来科技领域的一个研究热点。它通过对人脑的原理和行为进行模仿，从而研制出一种自动化机器，这种机器能分析、识别、发现问题。很多电力企业都运用了这种技术，它提高了电力运行的效率，减少了故障发生的概率，还节约了人力、物力、财力。同时，它也能解决电力系统中非常复杂的问题，如非线性映射。不仅如此，它还被继电保护所应用。人工智能技术中的神经网络方法，通过采集大量的故障样本，使设备对故障有一定的印象。因此，在发生故障的时候，设备能够快速反应并且发出警报。

3. 电力人工智能物联网技术的种类

1）人工神经网络

人工神经网络是人工智能技术的一种，它的非线性问题非常复杂。这种技术主要是用于继电保护，它是通过模仿人的神经系统而研制出来的。此外，人工神经网络还具有比较快的反应能力，能够及时对电力系统进行监控、评估等。即便是发生了故障，它也能够进行快速的判断，并且对故障的距离、情况等一一进行探测。

2）智能模糊逻辑

智能模糊逻辑通过运用模糊理论，输入变量，建立数学模型，能够很好地对电力系统进行规划，并且诊断电力系统故障。如今，智能模糊逻辑已经成为了一种比较成熟和完善的人工智能技术，广泛应用于电力系统中。

3）遗传算法

遗传算法的理论基础是数学模型，它通过借鉴自然遗传机制的随机搜索算法，从而对群体和个体之间的信息进行交换。一般情况下，电力系统中比较难的非线性问题采用遗传算法来解决。

4）混合技术

所谓的混合技术，就是将遗传算法、人工神经网络、智能模糊逻辑这几种技术合在一起。因为上面所说的几种方法有一定的局限性，甚至还有一些难以克服的缺陷。将这些技术合在一起，就能够更好地解决电力系统中的问题。

4. 电力人工智能工程技术的特点

1）优点

（1）并行性。该技术具有高度的并行性，因为它的内部由多个简单处理单元组成，这些小单元虽然比较简单，但是处理能力很高。不仅如此，这些小单元相组合，还能够处理并行活动，对信息的处理速度更是惊人。

（2）记忆性。人工智能技术也具有记忆性，因为它能够对信息进行记忆，然后将这些记忆信息存储在权值当中。从这些权值中就可以看出电力系统中的信息。另外，它还能对信息进行特征提取、特殊处理，给电力系统的工作带来了很大的方便。

（3）非线性全局作用。这种技术中的神经元能够接受其他神经元的输入，并且经过并行网络产生输出，从而对其他的神经元造成一定的影响。整个电力系统是相互制约、相互影响的，这样就可以达到非线性映射，从而表现出一种集体性的行为。

2）缺点

（1）需要较长训练时间。对于一些比较复杂的问题，遗传算法需要进行较长时间的训练。这是因为其学习的速率太慢。

（2）训练的难度较大。如果网络出现了故障，或者权值调得过大，就会使人工智能中的加权总和增加，从而导致导数非常小，而网络权值的调节过程也会随之而停顿。

因此，训练的难度较大。

5. 电力系统中人工智能物联网的具体应用

电力系统中有很多非线性问题，所用的方程式也有一定复杂性和系统性，但是可以应用人工智能技术来解决这些问题。

1）人工神经网络在继电保护中的应用

过去的继电保护装置使用普通计算机，后来开始运用人工神经网络，因为这种技术比普通的计算机更加可靠和稳定。在运行过程中，人工神经网络的运行效率非常高，而且速度也很快。不仅如此，人工神经网络还可以实现精准度比较高的算法，从而更好地保护电力系统。

人工神经网络包括三部分，分别是前置信号处理子系统、故障区域判定子系统以及故障判定网络。在操作之前，先要对输电线路旁边的电流、电压信号进行处理，从而得到一些数据。之后把故障的特征输入故障区域判定子系统中，这样就可以判断系统的故障了。最后使用第三部分的故障判定网络对故障的性质进行分析。

第一部分是前置信号处理子系统。要采取合适频率来对继电保护中的电流、电压进行采集，收集到故障样本之后将其输入到处理信号的子网络中，对其进行处理。最后将刚才的电流、电压的特征进行输出。

第二部分是故障区域判定子系统。这个系统能够对故障进行判定，用于快速判定故障发生的位置，从而对故障采取合理的解决措施。电力系统发生故障是不可避免的，系统运行了一段时间之后，难免会出现问题，比如金属故障、非线性故障、设备故障等。

第三部分是故障判定网络。这部分会自动对发生的故障进行分析，它有三个层面和节点，必须在其中输入电力系统中的突变量，然后对得到的这些值进行处理。

2）在电源规划中的应用

电源规划是电力系统中电源布局的战略规划。当前，人们对高质量电能的需求越发突出，加强电力建设，扩充新电源势在必行。电源规划问题之所以复杂，其中一个重要原因是每个规划时期备选机组状态的数目庞大，而对于每个具体的规划项目，这些状态大多是不可行的。利用专家系统，可以根据实际规划工作时的具体约束条件对方案进行裁减，尽早删除大量不可行的方案，从而减少优化计算的工作量，提高规划效率。同时，利用遗传算法，可以实现站址和站容的优化。

3）在电能质量分析中的应用

20 世纪 80 年代末以来，随着微电子技术和电力电子技术的发展，基电能质量越来越被人们关注。为提高电能质量，建立电能质量检测和分析识别系统，对其进行正确的检测、评估和分类就显得十分必要。传统的电能质量检测手段是以人工方式和便携式电能质量测量仪器为主，对线路和变电站进行现场数据采集，工作量大，采集的数据不系统，也不全面，时间延续性短，误差较大，效率低。采用人工智能技术能有效克服传统方法的缺陷。例如，电力系统中谐波诊断的任务是对一组电流或电压的采样信号确定出

各次谐波的含量或感兴趣的谐波成分含量，采用人工神经网络，可以在避免噪声和间谐波的情况下分析谐波问题。又如，电力系统电源侧电压及负荷变化将引起用户侧电压波动，长时间的电压偏移将使供电电压质量得不到保证，因此，保持电压偏移在允许范围内是衡量电能质量标准的一项重要内容。基于专家系统设计的变电站无功控制装置，能将已有的无功电压控制经验或知识用规则表示出来，形成专家系统的知识库，并能像有经验的调度员那样，在面临不同运行工况时，根据上述规则由无功电压实时变化值有效地作出合理的电压调节决策。此外，人工智能技术在电能质量分析中的应用，还包括电能质量的扰动分析、电能质量的数据管理和数据挖掘等。

4）在故障诊断中的应用

电力系统可能出现的故障种类繁多，具有复杂性、不确定性及非线性等特点。从一次系统的故障看，可分为线路和元件故障两大类；从二次系统的故障看，则可粗略地分为保护系统、信号系统、测量系统、控制系统及电源系统五类故障。若采用传统的方法诊断，效率低，准确率不高，而采用人工智能技术，能大大提高故障诊断的准确率。专家系统、神经网络、模糊逻辑是人工智能技术用于故障诊断的方法。例如，人工智能故障诊断技术运用于发电机及电动机的故障诊断时，将模糊理论与神经网络相结合，不仅保留了故障诊断知识的模糊性，还结合了神经网络学习能力强的优点，共同实现对电机故障的诊断，大大提高了故障诊断的准确率。

5）在电力系统无功优化中的应用

所谓电力系统无功优化，就是指当电力系统的结构参数及负荷情况给定时，通过对某些控制变量的优化，在满足所有指定约束条件的前提下，使系统的一个或多个性能指标达到最优的无功调节手段，它是保证电力系统安全，提高运行经济性的手段之一。可以将人工智能技术应用于电力系统无功优化。例如，针对传统方法在处理配电网无功优化时不能处理多元约束问题的缺陷，模糊优化法通过引入模糊集理论，能使一些不确定的问题得到解决。使用模糊优化法，可优化配电网的电容器投切，减少了配电网的网损，并提高了其电压质量。使用禁忌算法，能有效地处理不可微的目标函数，解决配电网补偿电容器优化投切 0-1 组合优化问题，并可以处理补偿电容器分档投切的组合优化问题。使用人工神经网络，可以将网损最小作为优化目标。使用人工神经网络，可以对多抽头的配电网电容器进行实时控制。

6）在抑制电力系统低频振荡中的应用

大规模电网互联易产生低频振荡，对电力系统的安全造成严重威胁。低频振荡的产生，源于系统缺乏阻尼。目前，低频振荡抑制措施中研究较多的是电力系统稳定器 FACTS 和 PSS 阻尼控制器。这两种办法均存在一定缺陷，即存在鲁棒性差的问题，而人工智能技术能模拟人类处理问题的过程，容易计及人的经验和具有一定的学习能力，将神经网络、模糊理论、GA 等人工智能技术应用于 FACTS 控制器和自适 PSS 的研究，能解决阻尼控制器参数的鲁棒最优整定，有效抑制电力系统低频振荡问题。

6. 人工智能在电力系统中的发展前景

目前，人工智能在电力系统运行中得到了广泛应用。随着经济发展和社会进步，人们对供电的质量和要求也越来越高，这使得电力企业必须采取科学的手段来提高电力系统的运行效率，并且运行更加方便简单、易于操作。这也是人工智能在电力系统中的发展前景。

电力系统还会不断发展，因为其复杂性在不断提高，所以一些影响因素也会随之而产生，再加上人工管理的方法容易出差错，因此电力企业必须使用人工智能的技术和方法。人工智能技术仍然在开发当中，技术人员在原有的技术基础上对其进行改进和完善，这样不但能够提高技术，还能够为电力系统的发展提供新的活力。

人工智能不但能为电力企业节省人力、财力、物力，甚至能够进行一系列的思考、规划、设计等活动，保护继电装置，防止电力运行系统出现故障。同时，人工智能能减少人工管理时出现的差错，提高运行效率，提高供电质量。未来，这种技术会越来越成熟，并且变得容易操作、方便，从而为电力企业和广大用户提供更优质的服务。

10.1.3 我国人工智能应用与生态发展分析

人工智能生态各要素动态演进，基于开放平台的生态逐渐成型。算力、算法和数据之后，场景成为人工智能应用的关键。视觉智能已经迈过了技术拐点，走向普及阶段，并将成为未来 5 年最有商业前景的领域。人脸识别开启了人们的认知，语音智能交互系统在各个领域得到普及，不同行业的垂直应用场景有待挖掘。数据分析和数据挖掘是数据智能的基础，局域智能将向全域智能转变，海量的数据将在“云端”汇聚，并实现数据之间的高度融合，“云端数据智能”将更加普遍。

1. 视觉智能应用、平台与生态

视觉智能是 5 年内最有商业前景的人工智能应用领域。安防行业将向规模化、自动化、智能化转型升级，到 2020 年，安防企业总收入达到 8000 亿元人民币左右，年增长率达到 10% 以上。只是智能安防这一个领域，就足够支撑多个百亿级别的独角兽企业，满足资本对视觉智能厂商的业绩期望。智慧城市将是视觉智能最大的应用领域，未来的市场规模必将在万亿以上。视觉智能 + 数据分析，将成为智慧城市系统的主体，发挥最为关键的作用。视觉智能应用，已经从图像识别、物体识别转向计算机视觉理解、视频理解这些更具挑战和应用价值的领域，未来其应用前景必将更加广阔。随着芯片技术的发展，终端智能将获得快速提升。云 + 端的数据处理方式成为潮流，未来智能终端将成为视觉智能应用重要的计算载体，同时云端对数据打通将发挥关键作用。

LFW 是目前人脸识别领域最权威的数据库之一，LFW 中的图像均产生于实际场景。具备自然的光照、表情、姿势和遮挡等干扰因素，且考虑到涉及人物多数为公众人物，

也涉及化妆等更复杂的干扰因素，在 LFW 数据库上验证人脸识别算法理论上更贴近实际应用。

从数据上看，目前计算机视觉的识别率普遍高于人眼（97.53%），而目前主流的视觉智能厂商的系统的识别率普遍高于 97.53%，未来还将有更多的视觉智能厂商达到这一水平。这意味着视觉智能已经迈过技术拐点，未来几年将面临疾风骤雨式的普及。

2. 语音智能应用、平台与生态

语音智能市场已经开始显现操作系统级别的竞争，并以开放平台和生态体系的方式来进行竞争，如不断嵌入更多的智能硬件设备，其中主要是手机和智能音箱，并逐步扩展到智能机器人、智能家居等领域。厂商之间的竞争焦点集中于手机厂商、智能硬件厂商。一方面在自家的语音交互系统中不断接入更多的服务，不断扩展用户通过智能语音助手能做的事情；另一方面构建开放平台，聚拢大量的软硬件合作伙伴，以生态体系的力量来强化其竞争优势和市场领导能力。

目前，国内主流语音智能厂商的识别率普遍高于 97%，迈过了商业应用的技术门槛。远场降噪和远场识别能力的提升，催生出智能音箱产品，进一步推动智能硬件的发展。主流厂商，其机器翻译能力也已经达到国际领先水平。语音智能与视觉智能、无人驾驶一起成为我国人工智能产业的三张名片。基于语义理解的语境理解、意图理解形成更自然的人机交互，是一大难点。

语音智能市场窗口较大。基于语音交互的垂直应用场景有待挖掘。基于语义理解和语音交互的垂直应用场景进一步深耕，具有语境理解、多轮对话、可随时打断等能力，是语音智能厂商的重要竞争力。智能客服、嵌入企业管理软件的语音助手、医疗机器人等是重要的细分领域。尤其是智能客服，针对不同行业的业务属性，开发场景化语音交互系统，是一个有待进一步挖掘的蓝海市场。智能车载、智能家居、智能机器人、智能可穿戴领域，语音智能厂商纷纷跟进对应赛道。在企业管理软件系统中，语音智能具有很大的应用潜力。一方面，办公软件，尤其是移动办公软件中，已经有一些厂商尝试在其产品中嵌入语音助手模块，让用户可以用语音交互的方式处理工作事宜；另一方面，基于语义理解的业务流程打通，将语音交互融入其业务流程系统，这也是企业管理软件厂商主要的发展方向。

3. 数据智能应用、平台与生态

在数据智能领域，数据分析与智能决策、数据可视化、智能营销、用户画像与个性化推荐、BI 等是重要的细分领域；在数据类型方面，移动数据和线下零售数据的分析成为热点。随着大数据产业的发展，基本的数据积累和数据处理体系已基本成型，未来关注的重点将转向多渠道、多种数据形式的融合，并且会从局域智能转向全域智能。局域智能是在某个细分领域的数据智能，为用户解决某些特定类型的问题。与之对应的，全域智能将实现三方面的突破。

（1）多渠道数据的融合，包括 PC 数据、移动端数据、物联网数据、线上数据和线下数据的融合。

（2）多类数据的融合，不仅能处理结构化数据，也能处理文本、语音、图像、视频等非结构化数据，并能实现数据打通，基于多种类数据的全面分析提供结果和决策建议。

（3）多维度数据融合，包括电商数据、社交数据、搜索数据、线下消费数据等多维数据的融合。

另外，局域智能更多地侧重于分析，而全域智能则更多侧重决策建议，并为用户自动化处理部分事物。

深度用户画像成为行业基础，很多数据智能应用以用户画像为基础，以此衍生出个性化推荐、智能营销、商业智能、安全态势感知等。更进一步，深度用户画像能对用户特征进行更深入的刻画，可以据此开展一些更具价值的智能服务，如金融风控，这在金融尤其是互联网金融领域具有广泛的应用。

由于人工智能具有海量的数据积累和较强的综合实力，在数据智能应用领域具有很大的优势，并且这一优势还会进一步加强。电商数据、支付数据、物流数据是价值量最高的几类数据，可以基于用户实现全面的特征刻画，进而发展出丰富的智能应用。由于新零售概念的兴起，大家开始逐步关注数据的价值，结合人脸识别等新手段，大量获取线下数据，尤其是线下消费和支付数据，最终实现线上数据与线下数据的融合，构建更完善的用户画像。云计算的成熟，有力地推动了数据积累和数据分析产业的发展，也有效促进了数据的融合。未来，海量的数据将在“云端”汇聚，并实现数据之间的高度融合，“云端数据智能”将更加普遍。

4. 企业服务应用、平台与生态

在企业智能领域，“人工智能技术 + 业务场景 + 管理流程”是企业智能的理想模式。企业智能目前还处于探索期，模式尚不固定，智能助手、人脸识别打卡等只是初级应用，并没有切入企业智能的核心。比较成熟的企业智能应用，一定是要实现人工智能技术与企业管理流程、业务场景的高度融合。

未来，人工智能技术，尤其是语义理解、数据挖掘技术，将嵌入企业信息系统的各个领域，包括 ERP 系统、CRM 系统、HR 系统、SCM 系统以及财务系统等。通过对这些系统中各种数据信息的理解和价值挖掘，然后结合管理流程，以及融合业务场景的知识图谱，对企业整体及各个细分领域的运营情况进行全面细致的分析。

企业内部数据的打通、人机协同是企业智能接下来的发展重点。通过数据和行业、业务知识的整合，构建针对特定行业的知识图谱，“专家系统”有可能获得重生，并发挥较大的作用。一方面，建立企业内部专家系统，辅助企业的管理决策和业务开展，也为新员工的培训提供帮助；另一方面，作为企业业务系统的延伸对外提供服务，比较典型的如智能客服系统，依据对行业和企业业务的知识图谱，回答客户的问题，进行一些业

务操作。未来几年，嵌入式智能将得到进一步发展，在企业服务领域智能硬件设备的使用成为一个亮点。

人与人工智能的关系可以分为三类，即机器主导、人主导、人机协同。未来不再是单一的人主导或者机器主导，而是人机高效协同。人提出问题，提供数据资料，智能系统根据信息提出决策建议，并在一定业务范围内实现自动化运营，人是智能服务的受益方。通过企业智能应用，可以实现科学化决策、自动化运营、人机高效协同的组织状态。

10.2　国家新一代人工智能发展战略

新一代人工智能技术国家发展战略、加快新时期人工智能发展重点任务、新时期人工智能技术 4 大攻关领域及关键技术是本节介绍的主要内容。

10.2.1　新一代人工智能技术国家发展战略

人工智能的迅速发展将深刻改变人类社会生活、改变世界。为抢抓人工智能发展的重大战略机遇，要构筑我国人工智能发展的先发优势，加快建设创新型国家和世界科技强国。

1. 战略态势

1）人工智能发展进入新阶段

经过 60 多年的演进，特别是在移动互联网、大数据、超级计算、传感网、脑科学等新理论新技术以及经济社会发展强烈需求的共同驱动下，人工智能加速发展，呈现出深度学习、跨界融合、人机协同、群智开放、自主操控等新特征。大数据驱动知识学习、跨媒体协同处理、人机协同增强智能、群体集成智能、自主智能系统成为人工智能的发展重点，受脑科学研究成果启发的类脑智能蓄势待发，芯片化硬件化平台化趋势更加明显，人工智能发展进入新阶段。当前，新一代人工智能相关学科发展、理论建模、技术创新、软硬件升级等整体推进，正在引发链式突破，推动经济社会各领域从数字化、网络化向智能化加速跃升。

2）人工智能成为国际竞争的新焦点

人工智能是引领未来的战略性技术，世界主要发达国家把发展人工智能作为提升国家竞争力、维护国家安全的重大战略，加紧出台规划和政策，围绕核心技术、顶尖人才、标准规范等强化部署，力图在新一轮国际科技竞争中掌握主导权。当前，我国国家安全和国际竞争形势更加复杂，必须放眼全球，把人工智能发展放在国家战略层面系统布局、主动谋划，牢牢把握人工智能发展新阶段国际竞争的战略主动，打造竞争新优势、开拓

发展新空间，有效保障国家安全。

3）人工智能成为经济发展的新引擎

人工智能作为新一轮产业变革的核心驱动力，将进一步释放历次科技革命和产业变革积蓄的巨大能量，并创造新的强大引擎，重构生产、分配、交换、消费等经济活动各环节，形成从宏观到微观各领域的智能化新需求，催生新技术、新产品、新产业、新业态、新模式，引发经济结构重大变革，深刻改变人类生产生活方式和思维模式，实现社会生产力的整体跃升。我国经济发展进入新常态，深化供给侧结构性改革任务非常艰巨，必须加快人工智能深度应用，培育壮大人工智能产业，为我国经济发展注入新动能。

4）人工智能带来社会建设的新机遇

我国正处于全面建成小康社会的决胜阶段，人口老龄化、资源环境约束等挑战依然严峻，人工智能在教育、医疗、养老、环境保护、城市运行、司法服务等领域广泛应用，将极大提高公共服务精准化水平，全面提升人民生活品质。人工智能技术可准确感知、预测、预警基础设施和社会安全运行的重大态势，及时把握群体认知及心理变化，主动决策反应，将显著提高社会治理的能力和水平，对有效维护社会稳定具有不可替代的作用。

5）人工智能发展的不确定性带来新挑战

人工智能是影响面广的颠覆性技术，可能带来改变就业结构、冲击法律与社会伦理、侵犯个人隐私、挑战国际关系准则等问题，将对政府管理、经济安全和社会稳定乃至全球治理产生深远影响。在大力发展人工智能的同时，必须高度重视可能带来的安全风险挑战，加强前瞻预防与约束引导，最大限度降低风险，确保人工智能安全、可靠、可控发展。

6）我国发展人工智能具有良好基础

国家部署了智能制造等国家重点研发计划重点专项，印发实施了“互联网 +”人工智能三年行动实施方案，从科技研发、应用推广和产业发展等方面提出了一系列措施。经过多年的持续积累，我国在人工智能领域取得重要进展，国际科技论文发表量和发明专利授权量已居世界第二，部分领域核心关键技术实现重要突破。语音识别、视觉识别技术世界领先，自适应自主学习、直觉感知、综合推理、混合智能和群体智能等初步具备跨越发展的能力，中文信息处理、智能监控、生物特征识别、工业机器人、服务机器人、无人驾驶逐步进入实际应用，人工智能创新创业日益活跃，一批龙头骨干企业加速成长，在国际上获得广泛关注和认可。加速积累的技术能力与海量的数据资源、巨大的应用需求、开放的市场环境有机结合，形成了我国人工智能发展的独特优势。

同时，也要清醒地看到，我国人工智能整体发展水平与发达国家相比仍存在差距，缺少重大原创成果，在基础理论、核心算法以及关键设备、高端芯片、重大产品与系统、基础材料、元器件、软件与接口等方面差距较大；科研机构和企业尚未形成具有国际影响力的生态圈和产业链，缺乏系统的超前研发布局；人工智能尖端人才远远不能满足需求；适应人工智能发展的基础设施、政策法规、标准体系亟待完善。

面对新形势新需求，必须主动求变应变，牢牢把握人工智能发展的重大历史机遇，

紧扣发展、研判大势、主动谋划、把握方向、抢占先机，引领世界人工智能发展新潮流，服务经济社会发展和支撑国家安全，带动国家竞争力整体跃升和跨越式发展。

2. 总体要求

1）指导思想与基本原则

以习近平新时代中国特色社会主义思想和党的十九大精神为指导，按照“五位一体”总体布局和“四个全面”战略布局，认真落实党中央、国务院决策部署，深入实施创新驱动发展战略，以加快人工智能与经济、社会、国防深度融合为主线，以提升新一代人工智能科技创新能力为主攻方向，发展智能经济，建设智能社会，维护国家安全，构筑知识群、技术群、产业群互动融合和人才、制度、文化相互支撑的生态系统，前瞻应对风险挑战，推动以人类可持续发展为中心的智能化，全面提升社会生产力、综合国力和国家竞争力，为加快建设创新型国家和世界科技强国、实现“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴中国梦提供强大支撑。

（1）科技引领。把握世界人工智能发展趋势，突出研发部署前瞻性，在重点前沿领域探索布局、长期支持，力争在理论、方法、工具、系统等方面取得变革性、颠覆性突破，全面增强人工智能原始创新能力，加速构筑先发优势，实现高端引领发展。

（2）系统布局。根据基础研究、技术研发、产业发展和行业应用的不同特点，制定有针对性的系统发展策略。充分发挥社会主义制度集中力量办大事的优势，推进项目、基地、人才统筹布局，已部署的重大项目与新任务有机衔接，当前急需与长远发展梯次接续，创新能力建设、体制机制改革和政策环境营造协同发力。

（3）市场主导。遵循市场规律，坚持应用导向，突出企业在技术路线选择和行业产品标准制定中的主体作用，加快人工智能科技成果商业化应用，形成竞争优势。把握好政府和市场分工，更好发挥政府在规划引导、政策支持、安全防范、市场监管、环境营造、伦理法规制定等方面的重要作用。

（4）开源开放。倡导开源共享理念，促进产学研用各创新主体共创共享。遵循经济建设和国防建设协调发展规律，促进军民科技成果双向转化应用、军民创新资源共建共享，形成全要素、多领域、高效益的军民深度融合发展新格局。积极参与人工智能全球研发和治理，在全球范围内优化配置创新资源。

2）战略目标

第一步，到2020年人工智能总体技术和应用与世界先进水平同步，人工智能产业成为新的重要经济增长点，人工智能技术应用成为改善民生的新途径，有力支撑进入创新型国家行列和实现全面建成小康社会的奋斗目标。

（1）新一代人工智能理论和技术取得重要进展。大数据智能、跨媒体智能、群体智能、混合增强智能、自主智能系统等基础理论和核心技术实现重要进展，人工智能模型方法、核心器件、高端设备和基础软件等方面取得标志性成果。

（2）人工智能产业竞争力进入国际第一方阵。初步建成人工智能技术标准、服务

体系和产业生态链，培育若干全球领先的人工智能骨干企业，人工智能核心产业规模超过 1500 亿元，带动相关产业规模超过 1 万亿元。

（3）人工智能发展环境进一步优化，在重点领域全面展开创新应用，聚集起一批高水平的人才队伍和创新团队，部分领域的人工智能伦理规范和政策法规初步建立。

第二步，到 2025 年人工智能基础理论实现重大突破，部分技术与应用达到世界领先水平，人工智能成为带动我国产业升级和经济转型的主要动力，智能社会建设取得积极进展。

（1）新一代人工智能理论与技术体系初步建立，具有自主学习能力的人工智能取得突破，在多领域取得引领性研究成果。

（2）人工智能产业进入全球价值链高端。新一代人工智能在智能制造、智能医疗、智慧城市、智能农业、国防建设等领域得到广泛应用，人工智能核心产业规模超过 4000 亿元，带动相关产业规模超过 5 万亿元。

（3）初步建立人工智能法律法规、伦理规范和政策体系，形成人工智能安全评估和管控能力。

第三步，到 2030 年人工智能理论、技术与应用总体达到世界领先水平，成为世界主要人工智能创新中心，智能经济、智能社会取得明显成效，为跻身创新型国家前列和经济强国奠定重要基础。

（1）形成较为成熟的新一代人工智能理论与技术体系。在类脑智能、自主智能、混合智能和群体智能等领域取得重大突破，在国际人工智能研究领域具有重要影响，占据人工智能科技制高点。

（2）人工智能产业竞争力达到国际领先水平。人工智能在生产生活、社会治理、国防建设各方面应用的广度深度极大拓展，形成涵盖核心技术、关键系统、支撑平台和智能应用的完备产业链和高端产业群，人工智能核心产业规模超过 1 万亿元，带动相关产业规模超过 10 万亿元。

（3）形成一批全球领先的人工智能科技创新和人才培养基地，建成更加完善的人工智能法律法规、伦理规范和政策体系。

3）总体部署

发展人工智能是一项事关全局的复杂系统工程，要按照“构建一个体系、把握双重属性、坚持三位一体、强化四大支撑”进行布局，形成人工智能健康持续发展的战略路径。

（1）构建开放协同的人工智能科技创新体系。

针对原创性理论基础薄弱、重大产品和系统缺失等重点难点问题，建立新一代人工智能基础理论和关键共性技术体系，布局建设重大科技创新基地，壮大人工智能高端人才队伍，促进创新主体协同互动，形成人工智能持续创新能力。

（2）把握人工智能技术属性和社会属性高度融合的特征。

既要加大人工智能研发和应用力度，最大程度发挥人工智能潜力；又要预判人工智能的挑战，协调产业政策、创新政策与社会政策，实现激励发展与合理规制的协调，最

大限度防范风险。

（3）坚持人工智能研发攻关、产品应用和产业培育“三位一体”推进。

适应人工智能发展特点和趋势，强化创新链和产业链深度融合、技术供给和市场需求互动演进，以技术突破推动领域应用和产业升级，以应用示范推动技术和系统优化。在当前大规模推动技术应用和产业发展的同时，加强面向中长期的研发布局和攻关，实现滚动发展和持续提升，确保理论上走在前面、技术上占领制高点、应用上安全可控。

（4）全面支撑科技、经济、社会发展和国家安全。

以人工智能技术突破带动国家创新能力全面提升，引领建设世界科技强国进程；通过壮大智能产业、培育智能经济，为我国未来十几年乃至几十年经济繁荣创造一个新的增长周期；以建设智能社会促进民生福祉改善，落实以人民为中心的发展思想；以人工智能提升国防实力，保障和维护国家安全。

10.2.2　加快新时期人工智能发展重点任务

1. 构建开放协同的人工智能科技创新体系

围绕增加人工智能创新的源头供给，从前沿基础理论、关键共性技术、基础平台、人才队伍等方面强化部署，促进开源共享，系统提升持续创新能力，确保我国人工智能科技水平跻身世界前列，为世界人工智能发展作出更多贡献。

1）建立新一代人工智能基础理论体系

聚焦人工智能重大科学前沿问题，兼顾当前需求与长远发展，以突破人工智能应用基础理论瓶颈为重点，超前布局可能引发人工智能范式变革的基础研究，促进学科交叉融合，为人工智能持续发展与深度应用提供强大科学储备。

（1）突破应用基础理论瓶颈。

瞄准应用目标明确、有望引领人工智能技术升级的基础理论方向，加强大数据智能、跨媒体感知计算、人机混合智能、群体智能、自主协同与决策等基础理论研究。大数据智能理论重点突破无监督学习、综合深度推理等难点问题，建立数据驱动、以自然语言理解为核心的认知计算模型，形成从大数据到知识、从知识到决策的能力。跨媒体感知计算理论重点突破低成本低能耗智能感知、复杂场景主动感知、自然环境听觉与言语感知、多媒体自主学习等理论方法，实现超人感知和高动态、高维度、多模式分布式大场景感知。混合增强智能理论重点突破人机协同共融的情境理解与决策学习、直觉推理与因果模型、记忆与知识演化等理论，实现学习与思考接近或超过人类智能水平的混合增强智能。群体智能理论重点突破群体智能的组织、涌现、学习的理论与方法，建立可表达、可计算的群智激励算法和模型，形成基于互联网的群体智能理论体系。自主协同控制与优化决策理论重点突破面向自主无人系统的协同感知与交互、自主协同控制与优化决策、知识驱动的人机物三元协同与互操作等理论，形成自主智能无人系统创新性理论

体系架构。

（2）布局前沿基础理论研究。

针对可能引发人工智能范式变革的方向，前瞻布局高级机器学习、类脑智能计算、量子智能计算等跨领域基础理论研究。高级机器学习理论重点突破自适应学习、自主学习等理论方法，实现具备高可解释性、强泛化能力的人工智能。类脑智能计算理论重点突破类脑的信息编码、处理、记忆、学习与推理理论，形成类脑复杂系统及类脑控制等理论与方法，建立大规模类脑智能计算的新模型和脑启发的认知计算模型。量子智能计算理论重点突破量子加速的机器学习方法，建立高性能计算与量子算法混合模型，形成高效精确自主的量子人工智能系统架构。

（3）开展跨学科探索性研究。

推动人工智能与神经科学、认知科学、量子科学、心理学、数学、经济学、社会学等相关基础学科的交叉融合，加强引领人工智能算法、模型发展的数学基础理论研究，重视人工智能法律伦理的基础理论问题研究，支持原创性强、非共识的探索性研究，鼓励科学家自由探索，勇于攻克人工智能前沿科学难题，提出更多原创理论，作出更多原创发现。

2）建立新一代人工智能关键共性技术体系

围绕提升我国人工智能国际竞争力的迫切需求，新一代人工智能关键共性技术的研发部署要以算法为核心，以数据和硬件为基础，以提升感知识别、知识计算、认知推理、运动执行、人机交互能力为重点，形成开放兼容、稳定成熟的技术体系。

（1）知识计算引擎与知识服务技术。

重点突破知识加工、深度搜索和可视交互核心技术，实现对知识持续增量的自动获取，具备概念识别、实体发现、属性预测、知识演化建模和关系挖掘能力，形成涵盖数十亿实体规模的多源、多学科和多数据类型的跨媒体知识图谱。

（2）跨媒体分析推理技术。

重点突破跨媒体统一表征、关联理解与知识挖掘、知识图谱构建与学习、知识演化与推理、智能描述与生成等技术，实现跨媒体知识表征、分析、挖掘、推理、演化和利用，构建分析推理引擎。

群体智能关键技术。重点突破基于互联网的大众化协同、大规模协作的知识资源管理与开放式共享等技术，建立群智知识表示框架，实现基于群智感知的知识获取和开放动态环境下的群智融合与增强，支撑覆盖全国的千万级规模群体感知、协同与演化。

（3）混合增强智能新架构与新技术。

重点突破人机协同的感知与执行一体化模型、智能计算前移的新型传感器件、通用混合计算架构等核心技术，构建自主适应环境的混合增强智能系统、人机群组混合增强智能系统及支撑环境。

（4）自主无人系统的智能技术。

重点突破自主无人系统计算架构、复杂动态场景感知与理解、实时精准定位、面向

复杂环境的适应性智能导航等共性技术，无人机自主控制以及汽车、船舶和轨道交通自动驾驶等智能技术，服务机器人、特种机器人等核心技术，支撑无人系统应用和产业发展。

（5）虚拟现实智能建模技术。

重点突破虚拟对象智能行为建模技术，提升虚拟现实中智能对象行为的社会性、多样性和交互逼真性，实现虚拟现实、增强现实等技术与人工智能的有机结合和高效互动。

（6）智能计算芯片与系统。

重点突破高能效、可重构类脑计算芯片和具有计算成像功能的类脑视觉传感器技术，研发具有自主学习能力的高效能类脑神经网络架构和硬件系统，实现具有多媒体感知信息理解和智能增长、常识推理能力的类脑智能系统。

（7）自然语言处理技术。

重点突破自然语言的语法逻辑、字符概念表征和深度语义分析的核心技术，推进人类与机器的有效沟通和自由交互，实现多风格多语言多领域的自然语言智能理解和自动生成。

3）统筹布局人工智能创新平台

建设布局人工智能创新平台，强化对人工智能研发应用的基础支撑。人工智能开源软硬件基础平台重点建设支持知识推理、概率统计、深度学习等人工智能范式的统一计算框架平台，形成促进人工智能软件、硬件和智能云之间相互协同的生态链。群体智能服务平台重点建设基于互联网大规模协作的知识资源管理与开放式共享工具，形成面向产学研用创新环节的群智众创平台和服务环境。混合增强智能支撑平台重点建设支持大规模训练的异构实时计算引擎和新型计算集群，为复杂智能计算提供服务化、系统化平台和解决方案。自主无人系统支撑平台重点建设面向自主无人系统复杂环境下环境感知、自主协同控制、智能决策等人工智能共性核心技术的支撑系统，形成开放式、模块化、可重构的自主无人系统开发与试验环境。人工智能基础数据与安全检测平台重点建设面向人工智能的公共数据资源库、标准测试数据集、云服务平台等，形成人工智能算法与平台安全性测试评估的方法、技术、规范和工具集。促进各类通用软件和技术平台的开源开放。各类平台要按照军民深度融合的要求和相关规定，推进军民共享共用。

4）加快培养聚集人工智能高端人才

把高端人才队伍建设作为人工智能发展的重中之重，坚持培养和引进相结合，完善人工智能教育体系，加强人才储备和梯队建设，特别是加快引进全球顶尖人才和青年人才，形成我国人工智能人才高地。

培育高水平人工智能创新人才和团队。支持和培养具有发展潜力的人工智能领军人才，加强人工智能基础研究、应用研究、运行维护等方面专业技术人才培养。重视复合型人才培养，重点培养贯通人工智能理论、方法、技术、产品与应用等的纵向复合型人才，以及掌握“人工智能”+经济、社会、管理、标准、法律等横向复合型人才。通过重大研发任务和基地平台建设，汇聚人工智能高端人才，在若干人工智能重点领域形成一批高水平创新团队。鼓励和引导国内创新人才、团队加强与全球顶尖人工智能研究机构合

作互动。

2. 培育高端高效的智能经济

加快培育具有重大引领带动作用的人工智能产业，促进人工智能与各产业领域深度融合，形成数据驱动、人机协同、跨界融合、共创分享的智能经济形态。数据和知识成为经济增长的第一要素，人机协同成为主流生产和服务方式，跨界融合成为重要经济模式，共创分享成为经济生态基本特征，个性化需求与定制成为消费新潮流，生产率大幅提升，引领产业向价值链高端迈进，有力支撑实体经济发展，全面提升经济发展质量和效益。

1）大力发展人工智能新兴产业

加快人工智能关键技术转化应用，促进技术集成与商业模式创新，推动重点领域智能产品创新，积极培育人工智能新兴业态，布局产业链高端，打造具有国际竞争力的人工智能产业集群。

（1）智能软硬件。开发面向人工智能的操作系统、数据库、中间件、开发工具等关键基础软件，突破图形处理器等核心硬件，研究图像识别、语音识别、机器翻译、智能交互、知识处理、控制决策等智能系统解决方案，培育壮大面向人工智能应用的基础软硬件产业。

（2）智能机器人。攻克智能机器人核心零部件、专用传感器，完善智能机器人硬件接口标准、软件接口协议标准以及安全使用标准。研制智能工业机器人、智能服务机器人，实现大规模应用并进入国际市场。研制和推广空间机器人、海洋机器人、极地机器人等特种智能机器人。建立智能机器人标准体系和安全规则。

（3）智能运载工具。发展自动驾驶汽车和轨道交通系统，加强车载感知、自动驾驶、车联网、物联网等技术集成和配套，开发交通智能感知系统，形成我国自主的自动驾驶平台技术体系和产品总成能力，探索自动驾驶汽车共享模式。发展消费类和商用类无人机、无人船，建立试验鉴定、测试、竞技等专业化服务体系，完善空域、水域管理措施。

（4）虚拟现实与增强现实。突破高性能软件建模、内容拍摄生成、增强现实与人机交互、集成环境与工具等关键技术，研制虚拟显示器件、光学器件、高性能真三维显示器、开发引擎等产品，建立虚拟现实与增强现实的技术、产品、服务标准和评价体系，推动重点行业融合应用。

（5）智能终端。加快智能终端核心技术和产品研发，发展新一代智能手机、车载智能终端等移动智能终端产品和设备，鼓励开发智能手表、智能耳机、智能眼镜等可穿戴终端产品，拓展产品形态和应用服务。

（6）物联网基础器件。发展支撑新一代物联网的高灵敏度、高可靠性智能传感器件和芯片，攻克射频识别、近距离机器通信等物联网核心技术和低功耗处理器等关键器件。

2）加快推进产业智能化升级

推动人工智能与各行业融合创新，在制造、农业、物流、金融、商务、家居等重点

行业和领域开展人工智能应用试点示范，推动人工智能规模化应用，全面提升产业发展智能化水平。

（1）智能制造。围绕制造强国重大需求，推进智能制造关键技术装备、核心支撑软件、工业互联网等系统集成应用，研发智能产品及智能互联产品、智能制造使能工具与系统、智能制造云服务平台，推广流程智能制造、离散智能制造、网络化协同制造、远程诊断与运维服务等新型制造模式，建立智能制造标准体系，推进制造全生命周期活动智能化。

（2）智能农业。研制农业智能传感与控制系统、智能化农业装备、农机田间作业自主系统等。建立完善天空地一体化的智能农业信息遥感监测网络。建立典型农业大数据智能决策分析系统，开展智能农场、智能化植物工厂、智能牧场、智能渔场、智能果园、农产品加工智能车间、农产品绿色智能供应链等集成应用示范。

（3）智能物流。加强智能化装卸搬运、分拣包装、加工配送等智能物流装备研发和推广应用，建设深度感知智能仓储系统，提升仓储运营管理水平和效率。完善智能物流公共信息平台和指挥系统、产品质量认证及追溯系统、智能配货调度体系等。

（4）智能金融。建立金融大数据系统，提升金融多媒体数据处理与理解能力。创新智能金融产品和服务，发展金融新业态。鼓励金融行业应用智能客服、智能监控等技术和装备。建立金融风险智能预警与防控系统。

（5）智能商务。鼓励跨媒体分析与推理、知识计算引擎与知识服务等新技术在商务领域应用，推广基于人工智能的新型商务服务与决策系统。建设涵盖地理位置、网络媒体和城市基础数据等跨媒体大数据平台，支撑企业开展智能商务。鼓励围绕个人需求、企业管理提供定制化商务智能决策服务。

（6）智能家居。加强人工智能技术与家居建筑系统的融合应用，提升建筑设备及家居产品的智能化水平。研发适应不同应用场景的家庭互联互通协议、接口标准，提升家电、耐用品等家居产品感知和联通能力。支持智能家居企业创新服务模式，提供互联共享解决方案。

3）大力发展智能企业

（1）大规模推动企业智能化升级。支持和引导企业在设计、生产、管理、物流和营销等核心业务环节应用人工智能新技术，构建新型企业组织结构和运营方式，形成制造与服务、金融智能化融合的业态模式，发展个性化定制，扩大智能产品供给。鼓励大型互联网企业建设云制造平台和服务平台，面向制造企业在线提供关键工业软件和模型库，开展制造能力外包服务，推动中小企业智能化发展。

（2）推广应用智能工厂。加强智能工厂关键技术和体系方法的应用示范，重点推广生产线重构与动态智能调度、生产装备智能物联与云化数据采集、多维人机物协同与互操作等技术，鼓励和引导企业建设工厂大数据系统、网络化分布式生产设施等，实现生产设备网络化、生产数据可视化、生产过程透明化、生产现场无人化，提升工厂运营管理智能化水平。

（3）加快培育人工智能产业领军企业。在无人机、语音识别、图像识别等优势领域加快打造人工智能全球领军企业和品牌。在智能机器人、智能汽车、可穿戴设备、虚拟现实等新兴领域加快培育一批龙头企业。支持人工智能企业加强专利布局，牵头或参与国际标准制定。推动国内优势企业、行业组织、科研机构、高校等联合组建中国人工智能产业技术创新联盟。支持龙头骨干企业构建开源硬件工厂、开源软件平台，形成集聚各类资源的创新生态，促进人工智能中小微企业发展和各领域应用。支持各类机构和平台面向人工智能企业提供专业化服务。

4）打造人工智能创新高地

结合各地区基础和优势，按人工智能应用领域分门别类进行相关产业布局。鼓励地方围绕人工智能产业链和创新链，集聚高端要素、高端企业、高端人才，打造人工智能产业集群和创新高地。

（1）开展人工智能创新应用试点示范。在人工智能基础较好、发展潜力较大的地区，组织开展国家人工智能创新试验，探索体制机制、政策法规、人才培育等方面的重大改革，推动人工智能成果转化、重大产品集成创新和示范应用，形成可复制、可推广的经验，引领带动智能经济和智能社会发展。

（2）建设国家人工智能产业园。依托国家自主创新示范区和国家高新技术产业开发区等创新载体，加强科技、人才、金融、政策等要素的优化配置和组合，加快培育建设人工智能产业创新集群。

（3）建设国家人工智能众创基地。依托从事人工智能研究的高校、科研院所集中地区，搭建人工智能领域专业化创新平台等新型创业服务机构，建设一批低成本、便利化、全要素、开放式的人工智能众创空间，完善孵化服务体系，推进人工智能科技成果转移转化，支持人工智能创新创业。

3. 建设安全便捷的智能社会

围绕提高人民生活水平和质量的目标，加快人工智能深度应用，形成无时不有、无处不在的智能化环境，全社会的智能化水平大幅提升。越来越多的简单性、重复性、危险性任务由人工智能完成，个体创造力得到极大发挥，形成更多高质量和高舒适度的就业岗位；精准化智能服务更加丰富多样，人们能够最大限度享受高质量服务和便捷生活；社会治理智能化水平大幅提升，社会运行更加安全高效。

1）发展便捷高效的智能服务

围绕教育、医疗、养老等迫切民生需求，加快人工智能创新应用，为公众提供个性化、多元化、高品质服务。

（1）智能教育。利用智能技术加快推动人才培养模式、教学方法改革，构建包含智能学习、交互式学习的新型教育体系。开展智能校园建设，推动人工智能在教学、管理、资源建设等全流程应用。开发立体综合教学场、基于大数据智能的在线学习教育平台。开发智能教育助理，建立智能、快速、全面的教育分析系统。建立以学习者为中心的教

育环境，提供精准推送的教育服务，实现日常教育和终身教育定制化。

（2）智能医疗。推广应用人工智能治疗新模式新手段，建立快速精准的智能医疗体系。探索智慧医院建设，开发人机协同的手术机器人、智能诊疗助手，研发柔性可穿戴、生物兼容的生理监测系统，研发人机协同临床智能诊疗方案，实现智能影像识别、病理分型和智能多学科会诊。基于人工智能开展大规模基因组识别、蛋白组学、代谢组学等研究和新药研发，推进医药监管智能化。加强流行病智能监测和防控。

（3）智能健康和养老。加强群体智能健康管理，突破健康大数据分析、物联网等关键技术，研发健康管理可穿戴设备和家庭智能健康检测监测设备，推动健康管理实现从点状监测向连续监测、从短流程管理向长流程管理转变。建设智能养老社区和机构，构建安全便捷的智能化养老基础设施体系。加强老年人产品智能化和智能产品适老化，开发视听辅助设备、物理辅助设备等智能家居养老设备，拓展老年人活动空间。开发面向老年人的移动社交和服务平台、情感陪护助手，提升老年人生活质量。

2）推进社会治理智能化

围绕行政管理、司法管理、城市管理、环境保护等社会治理的热点难点问题，促进人工智能技术应用，推动社会治理现代化。

（1）智能政务。开发适用于政府服务与决策的人工智能平台，研制面向开放环境的决策引擎，在复杂社会问题研判、政策评估、风险预警、应急处置等重大战略决策方面推广应用。加强政务信息资源整合和公共需求精准预测，畅通政府与公众的交互渠道。

（2）智慧法庭。建设集审判、人员、数据应用、司法公开和动态监控于一体的智慧法庭数据平台，促进人工智能在证据收集、案例分析、法律文件阅读与分析中的应用，实现法院审判体系和审判能力智能化。

（3）智慧城市。构建城市智能化基础设施，发展智能建筑，推动地下管廊等市政基础设施智能化改造升级；建设城市大数据平台，构建多元异构数据融合的城市运行管理体系，实现对城市基础设施和城市绿地、湿地等重要生态要素的全面感知以及对城市复杂系统运行的深度认知；研发构建社区公共服务信息系统，促进社区服务系统与居民智能家庭系统协同；推进城市规划、建设、管理、运营全生命周期智能化。

（4）智能交通。研究建立营运车辆自动驾驶与车路协同的技术体系。研发复杂场景下的多维交通信息综合大数据应用平台，实现智能化交通疏导和综合运行协调指挥，建成覆盖地面、轨道、低空和海上的智能交通监控、管理和服务系统。

（5）智能环保。建立涵盖大气、水、土壤等环境领域的智能监控大数据平台体系，建成陆海统筹、天地一体、上下协同、信息共享的智能环境监测网络和服务平台。研发资源能源消耗、环境污染物排放智能预测模型方法和预警方案。加强京津冀、长江经济带等国家重大战略区域环境保护和突发环境事件智能防控体系建设。

3）利用人工智能提升公共安全保障能力

促进人工智能在公共安全领域的深度应用，推动构建公共安全智能化监测预警与控制体系。围绕社会综合治理、新型犯罪侦查、反恐等迫切需求，研发集成多种探测传感

技术、视频图像信息分析识别技术、生物特征识别技术的智能安防与警用产品，建立智能化监测平台。加强对重点公共区域安防设备的智能化改造升级，支持有条件的社区或城市开展基于人工智能的公共安防区域示范。强化人工智能对食品安全的保障，围绕食品分类、预警等级、食品安全隐患及评估等，建立智能化食品安全预警系统。加强人工智能对自然灾害的有效监测，围绕地震灾害、地质灾害、气象灾害、水旱灾害和海洋灾害等重大自然灾害，构建智能化监测预警与综合应对平台。

4）促进社会交往共享互信

充分发挥人工智能技术在增强社会互动、促进可信交流中的作用。加强下一代社交网络研发，加快增强现实、虚拟现实等技术推广应用，促进虚拟环境和实体环境协同融合，满足个人感知、分析、判断与决策等实时信息需求，实现在工作、学习、生活、娱乐等不同场景下的流畅切换。针对改善人际沟通障碍的需求，开发具有情感交互功能、能准确理解人的需求的智能助理产品，实现情感交流和需求满足的良性循环。促进区块链技术与人工智能的融合，建立新型社会信用体系，最大限度降低人际交往成本和风险。

4. 加强人工智能领域军民融合

深入贯彻落实军民融合发展战略，推动形成全要素、多领域、高效益的人工智能军民融合格局。以军民共享共用为导向部署新一代人工智能基础理论和关键共性技术研发，建立科研院所、高校、企业和军工单位的常态化沟通协调机制。促进人工智能技术军民双向转化，强化新一代人工智能技术对指挥决策、军事推演、国防装备等的有力支撑，引导国防领域人工智能科技成果向民用领域转化应用。鼓励优势民口科研力量参与国防领域人工智能重大科技创新任务，推动各类人工智能技术快速嵌入国防创新领域。加强军民人工智能技术通用标准体系建设，推进科技创新平台基地的统筹布局和开放共享。

5. 构建泛在安全高效的智能化基础设施体系

大力推动智能化信息基础设施建设，提升传统基础设施的智能化水平，形成适应智能经济、智能社会和国防建设需要的基础设施体系。加快推动以信息传输为核心的数字化、网络化信息基础设施，向集融合感知、传输、存储、计算、处理于一体的智能化信息基础设施转变。优化升级网络基础设施，研发布局第五代移动通信（5G）系统，完善物联网基础设施，加快天地一体化信息网络建设，提高低时延、高通量的传输能力。统筹利用大数据基础设施，强化数据安全与隐私保护，为人工智能研发和广泛应用提供海量数据支撑。建设高效能计算基础设施，提升超级计算中心对人工智能应用的服务支撑能力。建设分布式高效能源互联网，形成支撑多能源协调互补、及时有效接入的新型能源网络，推广智能储能设施、智能用电设施，实现能源供需信息的实时匹配和智能化响应。

10.2.3　新时期人工智能技术四大攻关领域

1. 基础理论领域

（1）大数据智能理论。研究数据驱动与知识引导相结合的人工智能新方法、以自然语言理解和图像图形为核心的认知计算理论和方法、综合深度推理与创意人工智能理论与方法、非完全信息下智能决策基础理论与框架、数据驱动的通用人工智能数学模型与理论等。

（2）跨媒体感知计算理论。研究超越人类视觉能力的感知获取、面向真实世界的主动视觉感知及计算、自然声学场景的听知觉感知及计算、自然交互环境的言语感知及计算、面向异步序列的类人感知及计算、面向媒体智能感知的自主学习、城市全维度智能感知推理引擎。

（3）混合增强智能理论。研究“人在回路”的混合增强智能、人机智能共生的行为增强与脑机协同、机器直觉推理与因果模型、联想记忆模型与知识演化方法、复杂数据和任务的混合增强智能学习方法、云机器人协同计算方法、真实世界环境下的情境理解及人机群组协同。

（4）群体智能理论。研究群体智能结构理论与组织方法、群体智能激励机制与涌现机理、群体智能学习理论与方法、群体智能通用计算范式与模型。

（5）自主协同控制与优化决策理论。研究面向自主无人系统的协同感知与交互，面向自主无人系统的协同控制与优化决策，知识驱动的人机物三元协同与互操作等理论。

（6）高级机器学习理论。研究统计学习基础理论、不确定性推理与决策、分布式学习与交互、隐私保护学习、小样本学习、深度强化学习、无监督学习、半监督学习、主动学习等学习理论和高效模型。

（7）类脑智能计算理论。研究类脑感知、类脑学习、类脑记忆机制与计算融合、类脑复杂系统、类脑控制等理论与方法。

（8）量子智能计算理论。探索脑认知的量子模式与内在机制，研究高效的量子智能模型和算法、高性能高比特的量子人工智能处理器、可与外界环境交互信息的实时量子人工智能系统等。

2. 关键共性技术领域

（1）知识计算引擎与知识服务技术。研究知识计算和可视交互引擎，研究创新设计、数字创意和以可视媒体为核心的商业智能等知识服务技术，开展大规模生物数据的知识发现。

（2）跨媒体分析推理技术。研究跨媒体统一表征、关联理解与知识挖掘、知识图谱构建与学习、知识演化与推理、智能描述与生成等技术，开发跨媒体分析推理引擎与

验证系统。

（3）群体智能关键技术。开展群体智能的主动感知与发现、知识获取与生成、协同与共享、评估与演化、人机整合与增强、自我维持与安全交互等关键技术研究，构建群智空间的服务体系结构，研究移动群体智能的协同决策与控制技术。

（4）混合增强智能新架构和新技术。研究混合增强智能核心技术、认知计算框架，新型混合计算架构，人机共驾、在线智能学习技术，平行管理与控制的混合增强智能框架。

（5）自主无人系统的智能技术。研究无人机自主控制和汽车、船舶、轨道交通自动驾驶等智能技术，服务机器人、空间机器人、海洋机器人、极地机器人技术，无人车间 / 智能工厂智能技术，高端智能控制技术和自主无人操作系统。研究复杂环境下基于计算机视觉的定位、导航、识别等机器人及机械手臂自主控制技术。

（6）虚拟现实智能建模技术。研究虚拟对象智能行为的数学表达与建模方法，虚拟对象与虚拟环境和用户之间进行自然、持续、深入交互等问题，智能对象建模的技术与方法体系。

（7）智能计算芯片与系统。研发神经网络处理器以及高能效、可重构类脑计算芯片等，新型感知芯片与系统、智能计算体系结构与系统，人工智能操作系统。研究适合人工智能的混合计算架构等。

（8）自然语言处理技术。研究短文本的计算与分析技术，跨语言文本挖掘技术和面向机器认知智能的语义理解技术，多媒体信息理解的人机对话系统。

3. 基础支撑平台领域

（1）人工智能开源软硬件基础平台。建立大数据人工智能开源软件基础平台、终端与云端协同的人工智能云服务平台、新型多元智能传感器件与集成平台、基于人工智能硬件的新产品设计平台、未来网络中的大数据智能化服务平台等。

（2）群体智能服务平台。建立群智众创计算支撑平台、科技众创服务系统、群智软件开发与验证自动化系统、群智软件学习与创新系统、开放环境的群智决策系统、群智共享经济服务系统。

（3）混合增强智能支撑平台。建立人工智能超级计算中心、大规模超级智能计算支撑环境、在线智能教育平台、“人在回路”驾驶脑、产业发展复杂性分析与风险评估的智能平台、支撑核电安全运营的智能保障平台、人机共驾技术研发与测试平台等。

（4）自主无人系统支撑平台。建立自主无人系统共性核心技术支撑平台，无人机自主控制以及汽车、船舶和轨道交通自动驾驶支撑平台，服务机器人、空间机器人、海洋机器人、极地机器人支撑平台，智能工厂与智能控制装备技术支撑平台等。

（5）人工智能基础数据与安全检测平台。建设面向人工智能的公共数据资源库、标准测试数据集、云服务平台，建立人工智能算法与平台安全性测试模型及评估模型，研发人工智能算法与平台安全性测评工具集。

4. 智能化基础设施领域

（1）网络基础设施。加快布局实时协同人工智能的 5G 增强技术研发及应用，建设面向空间协同人工智能的高精度导航定位网络，加强智能感知物联网核心技术攻关和关键设施建设，发展支撑智能化的工业互联网、面向无人驾驶的车联网等，研究智能化网络安全架构。加快建设天地一体化信息网络，推进天基信息网、未来互联网、移动通信网的全面融合。

（2）大数据基础设施。依托国家数据共享交换平台、数据开放平台等公共基础设施，建设政府治理、公共服务、产业发展、技术研发等领域大数据基础信息数据库，支撑开展国家治理大数据应用。整合社会各类数据平台和数据中心资源，形成覆盖全国、布局合理、链接畅通的一体化服务能力。

（3）高效能计算基础设施。继续加强超级计算基础设施、分布式计算基础设施和云计算中心建设，构建可持续发展的高性能计算应用生态环境。推进下一代超级计算机研发应用。

10.3　电力人工智能物联网应用技术展望

10.3.1　运检人工智能物联网技术应用

1. 变电设备智能识别与故障诊断

1）应用简介

目前，通过机器人巡检、变电统一监控获取表计、开关 / 刀闸开合状态、油位计等可见光图像、红外图谱、声音检测数据，代替了传统的人工现场巡视相关工作。基于采集的图像、图谱、声音数据，应用人工智能技术，先后实现了刀闸和开关状态检测、仪表自动读数、异物悬挂及设备外观异常检测、变压器声音异常检测、温度异常检测等变电站设备状态检测应用场景。

在变电站巡检中，通过监控视频、巡检机器人对设备状态感知及感知数据的智能化识别分析，及时发现电网运行的事故隐患与故障，提高了变电站的自动化及智能化应用水平。

2）设计实现

通过分析变电站内采集的红外图像、可见光图像、声音数据，建立不同设备、不同状态的样本库，并根据样本库中不同状态设备的图像或声音特征建立变电站设备故障监测模型，对变电站设备温度情况、外观情况、刀闸及开关状态、仪表示数等通过图像预处理、图像识别、特征提取及机器学习等算法进行自动分析，实现设备状态的实时监测。

3）基于红外图像的变电站设备故障诊断

红外图像包含设备的温度信息，通过图像的分割和特征提取，建立红外图像特征数据库，并对采集的红外图像中的设备进行分类识别。

（1）基于图像的设备状态识别。

通过可见光图像中不同设备的特征分析，进行刀闸和开关的状态识别、仪表的自动读数、异物及悬挂物的检测，对异常状态的设备进行报警。

（2）基于声音的变压器状态识别。

变压器运行的声音信号很大程度上反映变压器的运行状况，借助高灵敏度的声音采集器和现代数字信号处理技术，通过分析声音信号中的多类特征，设计合理的分类器进行判别，可以实现比人耳更加客观可靠的在线检测和故障诊断。

4）应用成效

应用统一监控视频、变电站室内 / 外智能巡检机器人巡检及人工智能识别技术，大大减轻运维人员日常巡视、红外测温、设备工况检查等简单重复工作，实现简单劳动自动化，避免了运维站至各变电站之间的往返交通占用大量时间，特巡和事故后巡视的及时性不够。同时，解决了受运维人员技术水平等因素影响，巡视质量参差不齐，容易发生漏查、误判等问题，大大提高了变电运维工作效率与智能化水平。

2. 输电线路智能识别与缺陷诊断

1）应用简介

目前，应用无人机与巡线机器人实现了输电杆塔、导地线、通道走廊的可见光图像数据采集，在一定程度上减轻了传统的人工巡视工作量。基于采集的可见光图像数据，将人工智能技术应用于电网智能巡检，有效提高公司对海量巡检数据处理能力，实现了“输电线路部件、部位智能识别”“输电线路缺陷智能诊断”。集成了巡检数据后处理管理平台，对识别出的设备及缺陷进行管理，并形成相应的缺陷诊断报告，从而及时发现输电线路设备的外观异常和热缺陷等隐患，在降低运维成本和提高巡检自动化水平方面有巨大应用价值。

2）设计实现

（1）提高图像数据处理能力。

深度学习是图像智能处理的常用手段，训练数据规模庞大，因此计算能力是智能图像分析的基础。首先需在视频图像智能分析基础支撑技术层面做出重大革新，形成满足算法和模型需要的高性能基础支撑平台，进一步提高电网海量巡检图像处理能力。基础支撑平台的建设包括设计面向电网的图像智能分析技术框架，搭建异构计算架构，有效整合现有软件和计算资源，以及数据和标签管理。此平台可为试验和实践最新的人工智能理论和算法提供整套环境。

（2）巡检图像智能理解。

对有人机、无人机与巡线机器人采集的输电线路巡检图像进行预处理和特征提取，

在此基础上采用深度学习和传统图像处理技术实现巡检图像智能理解。

（3）输电线路巡检图像智能分析系统。

立足于航拍巡检图像智能分析典型业务应用场景，开发输电线路巡检图像智能分析系统，相当于一个数据后处理管理平台。其中集成了图像智能理解算法核心模块，在实际应用中可与现有的数据采集系统结合，从而实现直升机 / 无人机巡检、巡线机器人所采集图像中，电网设备典型缺陷的智能识别。

3）应用成效

（1）输电线路巡检图像场景分类。

多角度不同距离下拍摄的图片差异巨大，因此针对单张巡检航拍图像，从整体角度理解拍摄内容，并进行图片拍摄内容的分类，降低图片的无序性，为缺陷识别提供先验知识。

（2）输电线路部件、部位智能识别。

在输电线路巡检时，判断输电线路中的杆塔金具、绝缘子、导地线在图像上的位置有着尤其重要的意义。

（3）输电线路缺陷智能诊断。

当前已实现杆塔异物缺陷检测、导线异物缺陷检测、绝缘子掉片缺陷检测、防震锤移位缺陷检测等缺陷诊断。

3. 基于可穿戴装备的变电站智能巡检专家系统

1）应用简介

采用自主研发的可穿戴智能巡检主机、高清可见光 / 红外热成像双光头盔、超小型便携式紫外成像仪、便携式局放检测仪等智能化巡检装备，获取现场巡检高清可见光、红外、紫外图片 / 图像及局放图谱数据，通过电力 4G 无线专网（或 VPN 网）实时传送至电力内网后台服务器，通过基于人工智能技术开发的智能巡检专家诊断系统对巡检数据进行处理、分析及预测，从而有效降低变电站巡检人员工作量，大幅提升巡检效率和故障检出率，全面支撑设备运行维护和状态检修。

2）设计实现

系统通过基于智能图像处理的关键变电设备的识别技术体系，实现可见光、红外、紫外图像中设备的准确识别、定位及融合；通过典型故障诊断专家系统，利用融合方法实现多重故障信息的综合表达，利用深度学习技术实现典型故障的研判及综合诊断。

（1）变电站主设备识别。

基于智能图像处理的变电站主设备识别技术主要分为两部分。首先是通过特征提取技术提取对象的几何、纹理、颜色、空间关系等特征，形成特征表达，如稀疏编码或视觉单词模型等。其次训练特征子集选择，也就是对特征样本进行特征降维，再训练特征分类器，分类器完成对输入的图像表达特征进行分类，从而达到对设备的识别。

特征提取采用 HOG 特征或不变矩，通过计算预处理后剩余图像区域的 7 个不同特

征来构成一组特征。

卷积神经网络（CNN）通过卷积层和池化层来提取特征。

决策分类采用 SVM（Support Vector Machine）支持向量或者卷积神经网络的全连接神经网络等。

（2）基于深度学习的专家诊断模型。

基于深度学习的专家诊断模型分为两部分。首先是通过智能图像处理技术实现主设备的识别，通过主设备的识别获取设备工况信息，以卷积神经网络（CNN）为诊断核心算法，对获取的设备图像进行状态分类，再融合设备状态信息，调用层级实时记忆（HTM）算法及推理知识，最终得到设备的状态情况和可能的故障诊断信息。

（3）基于可穿戴装备和深度学习的专家诊断系统。

使用智能可穿戴装备完成巡检数据的实时采集、预处理和传输时，通过卷积神经网络（CNN）人工智能算法对可见光、红外、紫外图像及局放图谱进行特征提取，通过层级实时记忆（HTM）人工智能算法对带时间标签的特征参数数据进行深度学习，形成设备故障诊断信息和趋势预测，为专业技术人员的深度分析和处置提供强有力的技术手段。

3）应用成效

目前，可穿戴巡检装备（可穿戴智能巡检主机、高清可见光 / 红外热成像双光头盔、超小型便携式紫外成像仪、便携式局放检测仪等）已完成样机研制，并已经过近一年的应用测试，其中可穿戴巡检主机已达量产水平。基于深度学习的专家诊断系统部分功能已在实验室进行测试，但目前还未投入现场实际应用。

2017 年 1 月，已完成 500kV 南京东善桥变、无锡梅里变、苏州木渎变 TD-LTE 4G 无线专网基站部署，构建了无线专网网络环境，为下一步开展可穿戴巡检装备的现场应用和基于人工智能的专家诊断系统的建立创造了条件。2017 年 10 月，基于深度学习的人工智能专家诊断系统将投入实际应用测试，着力通过人工智能技术为变电站主设备的故障诊断和趋势预测开辟一条新思路。

4. 智能变电站安全远程监控

1）应用简介

目前，国网公司 110kV 上变电站约有 1.5 万个，大部分虽然已经实现了基于场区安全防护需要的视频监控，但完全还是使用人工远程查看的方式。这种方式从实际应用的价值上来说，仅仅能起到一个辅助查看的作用，应用价值不高。其实并非视频监控的应用方式只能是为了满足人工查看，根本原因还是缺乏人工智能的监控手段，业务价值的发挥被技术支撑能力的短板所限制。

2）设计实现

针对无人值守变电站远程安全监控业务需求，面向已建变电站摄像头终端设备升级换代及新建变电站摄像头终端设备布点，通过运用高清复眼摄像头产品，保证变电站各个运行部件清晰展示，为监控人员提供清晰、真实、立体化的变电站实时运行场景。

3）应用成效

根据变电站视频监控数据本地化存储的特征，使用公司非结构化数据存储系列产品，并基于视频浓缩摘要服务，突破原有 30 天的视频数据存储时限，实现安全事件管理可追溯周期的大幅延伸。采用三维可视化、视频智能识别与分析及物联传感技术，实现设备运行状态与场区环境状态的全时联动，打造智能变电站一体化全景监控防护体系。

5. 基于智能眼镜的智能巡检

1）应用简介

智慧单兵平台对接生产管理系统，可从生产管理系统数据库获取待办事项及设备台账等数据，智能眼镜与智慧单兵平台实时连接，包含待办事项提醒、设备台账获取、红外测温、调焦拍照、巡视轨迹记录、远程专家等功能，智能眼镜的相关功能都是独立的，用户可随时调用使用，当用户接收待办事项以后在使用过程中产生的数据都将于该待办事项绑定，在后台形成记录，供管理人员查看。

2）设计实现

待办事项：智慧单兵平台对接生产管理系统数据，从生产管理系统里获取人员近期的待办事项，并实时下发至智能眼镜上，当到达待办事项时间点时，自动进行提醒。

设备台账获取：智能眼镜可以根据现场情况实时获取设备的台账数据，并通过 AR 技术实时叠加在智能眼镜的屏幕上，智能眼镜获取台账的方式有以下几种方式。

（1）语音识别：用户通过语音输入台账名称，智能眼镜自动将用户的语音转化成设备台账名称文字传到智慧单兵平台，智慧单兵平台通过设备名称到生产管理系统后台数据库检索设备对应的台账信息并下发至智能眼镜。

（2）标牌文字识别：现场设备都有对应的标牌信息，标明了设备的名称，智能眼镜通过摄像头智能识别标牌上的文字信息，得到设备名称传到智慧单兵平台，智慧单兵平台通过设备名称到生产管理系统后台数据库检索设备对应的台账信息并下发至智能眼镜。

（3）设备实物识别：智慧单兵平台对现场设备实物进行建模，智能眼镜通过摄像头拍摄设备实物传到智慧单兵平台，智慧单兵平台根据得到的设备实物照片进行匹配，得到设备名称，通过设备名称到生产管理系统后台数据库检索设备对应的台账信息并下发至智能眼镜。

（4）红外测温：智能眼睛集成红外成像测温功能，用户可实时获取设备的温度数据，并实时传送到后台，后台设定的温度阀值数据，当温度达超出设备的阈值范围时，及时产生报警并实时下发给智能眼镜。

（5）MR 拍照：巡视过程中用户可以调用拍摄功能，拍摄现场照片或者视频并上传至云平台。其中，拍摄照片时，可以通过语音输入缺陷内容并叠加在照片上。

（6）巡视轨迹记录：智慧单兵平台下发待办事项时自动形成一条巡视轨迹路线，智能眼镜结合 GPS 信息实时记录人员的位置信息，并上传至智慧单兵平台，智慧单兵

平台形成实时巡视轨迹，智慧单兵平台对用户的实时位置信息及巡视轨迹进行监控匹配，当用户位置或者巡视轨迹偏移时产生报警信息并发送给相关管理人员，用户通过智能眼镜拍摄的照片同时结合位置信息叠加于巡视轨迹上。

（7）远程专家：抢修过程中用户可以发起远程协助请求，专家通过前端第一人称视角对现场做出准确判断，并给出切实可行的指导意见。

3）应用成效

2016 年，在龙岩局试点应用，主要利用智慧单兵平台及智能眼镜进行现场巡视工作以及安全稽查，效果显著，提高了 30% 以上工作效率。

2017 年，在厦门城市共用电检修有限公司进行试点应用，利用智能眼镜进行现场作业，实时回传现场音视频，方便了现场工作监督以及现场工作调配。

6. 基于国网统一视频平台的输变电监控分析

1）应用简介

基于国网统一视频平台，利用多媒体处理、大数据、深度学习技术，实现对输变电场景监控视图的接入管理及分析，建立了可持续扩展的视频图像库、标签库，对视频图像中变压器、刀闸、杆塔、绝缘子、杆塔鸟巢、金具锈蚀、线路树障等典型设备及隐患进行自动标签分类，对视频图像中大型物体靠近、人员进出等典型事件进行智能识别，为电网运检过程管控、故障图像研判等提供深层次的价值信息，为运检决策提供重要的平台、技术及数据支撑。

2）设计实现

视频平台从运检业务层面出发，梳理输变电巡检内容，针对设备、人员、环境等重点关注信息，建立视频图像库、标签库，实现对视频图像及结构化信息的配置管理，基于大数据存储技术实现分布式视频图像的存取，并结合大数据计算、视频图像处理、深度学习技术，搭建分布式视频图像文件处理框架，实现分布式的编解码、图像分析，完成输变电视频图像文件的典型标签自动分类与智能识别，为输变电视频图像深度智能分析提供了重要的平台框架及技术基础，在提供输变电可视化监控的同时，可以为运检管控及分析决策提供重要视频图像价值内容信息。

（1）存储管理。通过存储管理，可以实现大数据存储环境配置、与集中存储服务的关联，保证视频图像数据的分布式存储。

（2）算法管理。通过算法管理功能，实现对智能分析算法包的添加、修改和删除，支持各类分析算法的灵活接入和快速扩展。

（3）标签管理。通过标签管理功能，可以为输变电视频图像不同业务应用场景提供灵活的标签管理。

（4）算法与标签关联。通过算法与标签关联功能，实现算法与标签目录中标签类别的关联，实现视图标签的自动标注。

（5）智能分析任务管理。通过智能分析任务管理功能，实现智能分析任务的管理。

输变电图像智能分析任务包括标签分类（变压器、刀闸、杆塔、绝缘子、杆塔鸟巢、金具锈蚀、线路树障、线路违建），还有人员进出检测、大型物体靠近分析，实现了对典型视频图像文件的分布式结构化分析。

（6）视图库。通过视图库功能，可以设置查询条件检索大数据存储中的视频图像，对视频图片进行手动标签标注和修改。

3）应用成效

智能型统一视频平台继承前期建设成果，进一步提升平台实用化水平，利用大数据、深度学习技术，打造智能型统一视频平台，重点实现了对输变电监控视频图像价值数据的高效存储管理、分析挖掘及快速检索。

（1）通过高效存储管理，实现对电力视频图像数据的集中存储。针对重要视频资源未有效存储的情况，通过建立大数据分布式存储机制，实现对平台重要视频图像的集中存储，建立可持续扩展的电力场景视频图像库和标签库，妥善保存电力视频图像数据资源。

（2）通过快速检索分析，实现由人工分析检索到智能分析检索的转变。针对视频图像处理中数据、算法、计算三大资源需要，结合大数据、深度学习等技术，对视频图像文件进行结构化分析，提升平台对输变电视频图像的快速检索分析能力，保证工程应用成效。

（3）通过提供价值内容，实现对视频图像业务应用支撑能力的全面提升。针对各业务场景智能分析算法的多样性情况，形成的平台存储及分析能力，能够便于后期集成优势分析算法，支撑运检视频图像深度智能应用。

10.3.2　运行控制人工智能物联网技术应用

1. 基于多源数据融合的电网故障分析及应用

1）应用简介

在当前互联大电网下故障发生时，大量的报警信息在短时间内涌入调度中心，远远超过运行人员的处理能力，往往使调度员误判、漏判。为了适应各种简单和复杂事故情况下故障的快速而准确的识别，需要电网故障诊断系统进行决策参考。同时，由于电力系统调度自动化水平不断提高，越来越丰富的报警信息通过各变电所的远方终端装，传送到各级电网调度中心，使得利用采集的实时信息进行电力系统故障诊断成为可能。另外，对于电力系统故障的仿真分析和模拟培训也可以通过电力系统故障诊断系统来提升调度员的经验和水平。

2）设计实现

针对电网实际情况，侧重电网运行信息、设备状态信息、环境监测信息深度融合与综合应用，开展基于多源数据融合的电网故障辅助分析系统的研制。研究内容主要包括

以下几个方面。

（1）多源数据融合处理技术。

多线程通用数据采集框架整合了数据采集程序常用的各种基础功能，包含线程管理、业务逻辑接口和公共服务等三个模块，如图 10-1 所示。

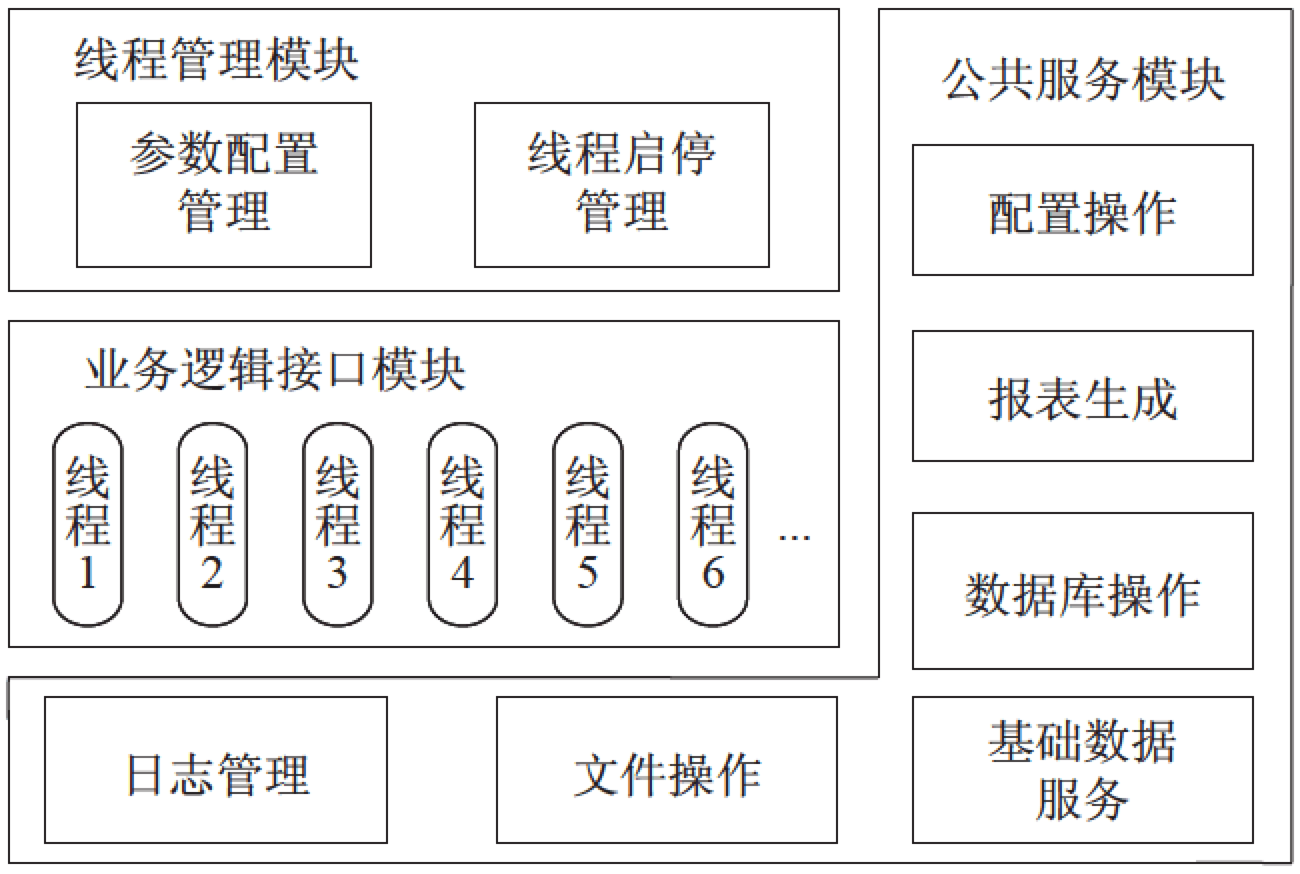


图 10-1　多线程通用数据采集框架

（2）利用多源数据的电网故障智能诊断技术。

以一种基于时间序列匹配的电力系统故障诊断方法，通过计算警报假说时间序列与实际警报时间序列之间的距离，得出时间序列假说置信度和元件故障置信度，识别故障元件；以一种综合利用电气量和时序信息的电力系统故障诊断方法，建立元件的加权模糊时序 Petri 网模型，综合 SCADA 信息、WAMS 的电气量信息以及这些信息所包含的时序特性，形成警报信息判据、库所延时约束和电气量判据；采用高斯函数，结合时序推理，为 Petri 网模型置信度矩阵赋初值，通过迭代进行模型求解，得出元件故障置信度，识别出故障元件，提高诊断结果准确性；以一种考虑气象等影响要素的电网故障原因推理分析方法，通过比较故障前后的电力系统拓扑结构，识别停电区域，确定候选故障元件，再根据继电保护和断路器状态，确定故障元件，最后分析导致故障的气象等影响因素，以帮助系统运行人员快速定位和排除故障，尽快恢复系统正常运行。利用多源数据的电网故障智能框架如图 10-2 所示。

（3）基于规则推理的配网多源信息故障诊断技术。

该模块集成了电力生产管理系统（PMS）、调度管理系统（OMS）以及能量管理系统（EMS）的海量数据，以事故分闸为主线获取关联的遥信变位、遥测、保护、遥控、操作票等辅助数据，并用基于时序信息的规则给出预判提示，简化了配网故障分析的流程，实现了配网故障的高效准确处理。此外，在本系统积累的配网故障信息基础之上，结合线路过负荷、运行操作、检修试验、雷电、气象、重大活动和节假日等内外部数据开展大数据关联分析研究，为配网运维检修策略的制定提供参考依据。

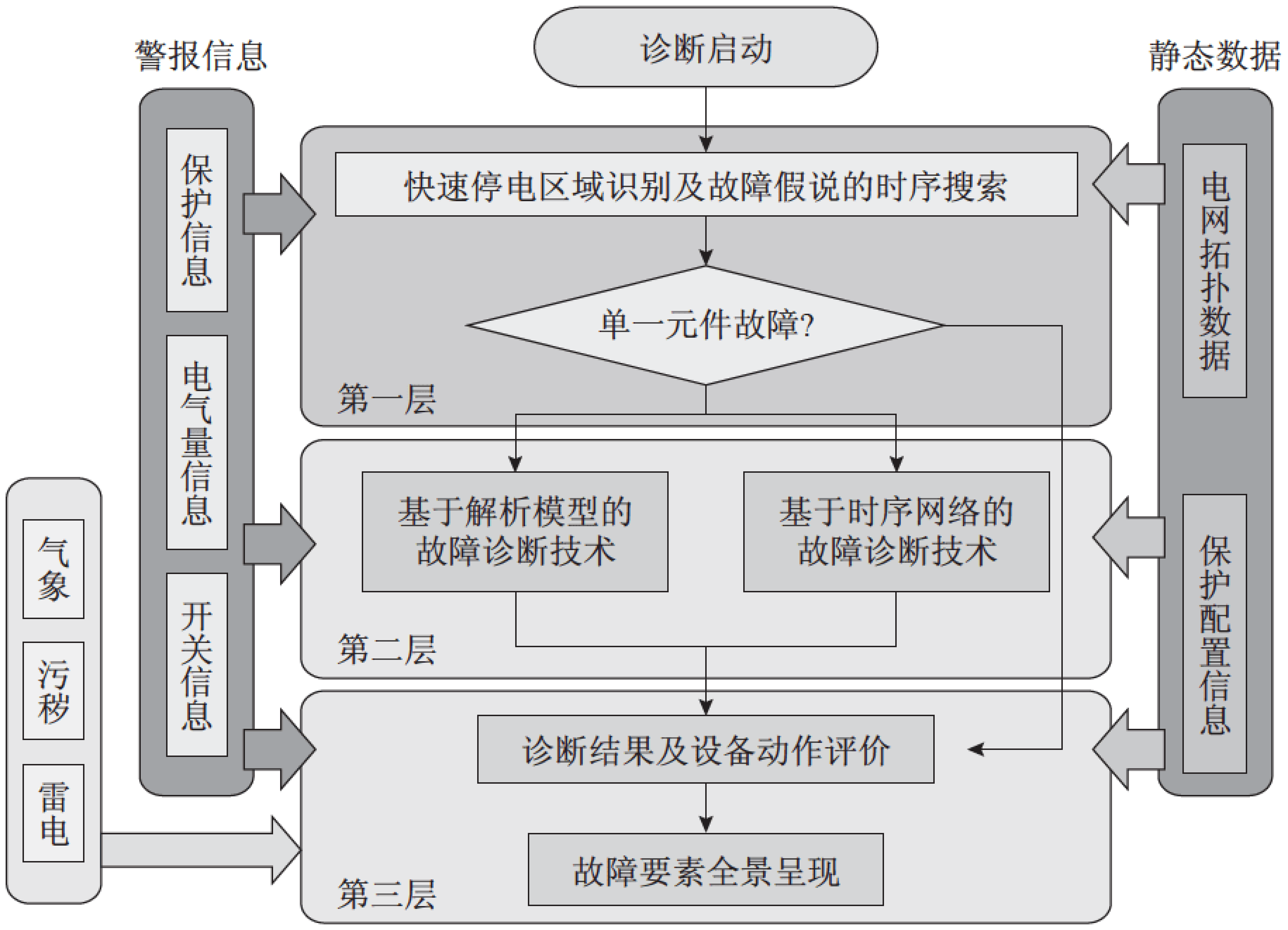


图 10-2　利用多源数据的电网故障智能诊断框架

3）应用成效

针对电网故障诊断预警应用特点，实现了电网运行信息、设备检修信息、气象环境信息的深度融合与综合应用，为电网企业生产、运行部门高效开展电网故障诊断、配网事故跳闸在线分析统计、基于机器学习分析的电网故障预警、故障应急处理以及专业闭环管理等工作提供了重要的技术支撑手段。

2. 配网站房智能综合监控

1）应用简介

针对配电网的开关站、配电房、环网柜、分支箱、柱上开关、箱式变压器等配网运行相关环节，运用视频监控、环境监测、门禁管理、智能控制、红外热成像测温、智能分析、通信传输等技术，实现对配电网现场图像及各种环境信息采集、分析、监控、控制管理等功能。

2）设计实现

通过与配电自动化系统的信息交互，实现配电遥控可视化联动。通过智能化管理平台，结合前端视频采集设备，实现配电站点远程智能巡视。采用先进的图像识别技术，基于丰富的标准模型库，实现图像采集终端与图像识别分析单元的智能交互，为视频监控装上永不疲倦的“大脑”，既可作为独立系统部署应用，也可作为图像智能分析核心功能模块与输电线路远程巡检云平台等系统集成，可提供目标图像识别、行为分析、边界防护、流量统计、视频质量自诊断等功能。

3）应用成效

通过智能化管理平台，结合前端视频采集设备，实现配电站点远程智能巡视。

10.3.3 供用电服务人工智能物联网技术应用

1. 潜在电子化缴费用户自动化识别

1）应用简介

通过低压居民用户的用户行为分析，建立用户实名制认证的用户（人）与用电户（户）的动态数据映射库，透过用户画像建立人户间的用电行为和缴费行为关系，为后期开展业务精准推荐、信息精准推送、诉求精准预测的延伸性营销服务，唤醒对现有用户数据的使用和价值挖潜，真正实现主动感知、主动服务，解决以往对于服务谁、服务什么、如何服务的业务瓶颈。

2）设计实现

通过分析低压居民用电信息基本数据、属性数据、用电数据和外部数据（房价和天气等），建立电子化渠道适应度模型和渠道偏好度模型，对低压居民的用电量、缴费方式、居住区域和立户年限等因素进行分析，构建分类规则，通过数据挖掘算法算法，创建基于客户体验的电子渠道运营评估体系，建立闭环的优化机制，持续提升电子渠道客户满意度及运营能力，促进电子渠道用户数的快速增长。

（1）场景验证思路。制定详细的需求调研计划，收集用户业务问题，掌握客户核心应用需求，落实以客户需求为核心的工作思路和方法，完成分析体系搭建和建模，形成电子渠道业务验证方案。

（2）缴费渠道模型建模思路。制定详细的需求调研计划，收集用户业务问题，掌握客户核心应用需求，落实以客户需求为核心的工作思路和方法，完成分析体系搭建和建模。

3）应用成效

基于大数据环境，一方面通过构建偏好度模型，将偏好程度进行量化，从而进行用户偏好度划分；另一方面通过构建渠道适应度模型，将电子缴费场景的预测结果与客户的渠道偏好度相结合，创建基于客户体验的电子渠道运营评估体系，建立闭环的优化机制，持续提升电子渠道客户满意度及运营能力，进而促进电子渠道用户数的快速增长。

2. 基于文本相似度的重复来电分析

1）应用简介

利用文本挖掘技术，结合客服业务需求，对来电信息中隐含的语义特征进行挖掘，重点关注重复来电次数多的客户，对来电出现的热点问题及时发现与跟踪，以便能把握处理问题的最佳时机，从而提高处理热点问题的能力和监测能力。

2）设计实现

在提取重复来电工单的过程中，首先进行数据清理，即对 95598 工单文本清除异常来电号码，如无故挂断、内部拨测、12345 等异常来电。其次进行数据预处理，即根据关联规则来提取来电相同的工单。再次进行文本语义分析，包括中文分词、特征向量矩阵、相似度计算、聚类等步骤，对来电相同的工单的受理内容进行文本聚类，提取出同一用户，来电内容相似的重复来电工单，并对语义特征进行分析。

3）应用成效

从效率上讲，重复来电专题分析替代了人工查找重复来电工单，能提高工作速率。一个月工单量几十万条，仅凭人工借助关联工单或电话号码、户号筛查的方式统计，不仅耗时巨大，要基于全量工单进行重复来电分析的可操作性也不高，也较难彻底反映用户用电重复关心的问题和原因。通过该系统，利用大数据挖掘、语义分析技术，计算时间短，时效性更强，更有助于及时决策。从质量上讲，利用重复来电模型对数据进行处理，经实验验证，准确率能达到 90%，数据质量较优。

3. 利用智能语音技术实现话务录音自动质检

1）应用简介

利用智能语音技术，将 95598 话务录音数据精准转译为结构化文本数据，实现海量话务录音数据的全量自动质检，并对话务服务过程中存在的问题进行及时判别和分析，辅助人工质检，提高人工质检效能。智能语音质检能自动提取业务关键数据信息，有效辅助管理人员开展来电原因、客户行为、疑似投诉等专项分析工作，提升 95598 服务监督力度和质量管理工作质效。

2）设计实现

采用目前国际主流的 DNN（深度神经网络）+HMM（隐马尔可夫模型）的方法训练中文语音识别技术，能够适应不同年龄、不同地域、不同人群、不同信道、不同终端和不同噪声环境的应用环境，利用中心海量语音、文本语料进行模型定制化训练，构建高可用、高识别率的语音转写及分析平台。按照公司统一接口规范与第三方业务系统对接，提供标准统一的集成方案，便于后续的升级和扩展。此外，该平台还可提供国际通用的媒体服务协议接口，与业务应用系统进行无缝集成。

智能语音识别核心为智能语音转写技术，主要包括语言模型训练、前端语音处理、后端识别处理三部分。

3）应用成效

通过智能语音识别技术与呼叫行业质量管理工作深度融合，实现工单全量自动质检和分级分类，并提供相关功能辅助人工质检，实现质量管理模式由“随机抽取”质检向“先分类、后质检”的精准化、智能化模式转变。

一是对电力客户，开展规范、全面的客户服务，切实解决客户实际问题，更准确地识别客户需求、评估服务能力、识别服务风险，提高客户满意度，不断推进供电服务品

质的提升。

二是对国网客服中心，为持续优化业务流程、服务话术、系统运行提供依据，全面提升客服专员服务能力，实现中心服务质量持续改进、风险防控能力持续加强的目标。

三是对省（市）公司，实现 95598 业务协同和全过程监督，为省（市）公司经营管理提供以客户为导向的服务质量改善建议。

四是对国网公司，提高公司智能化水平，打造公司品牌效应，通过对智能语音识别技术的研究和应用，引入深度学习、神经网络技术等人工智能核心技术。

五是对呼叫中心行业，通过所积累的研究和应用经验，为其他呼叫中心开展人工智能技术研究提供技术支撑、理论指导和应用经验。

4. 电子渠道智能客服机器人

1）应用简介

智能客服机器人，借助自然语言处理和深度学习等核心技术，构建基于结构化数据和非结构化数据的专业知识库，提供拟人化的场景式自动应答能力，提供智能检索、智能应答、智能分析等能力，有效改善用户体验和提高用户满意度，辅助企业提升电子渠道业务发展和营销客服业务能力。

2）设计实现

智能客服机器人系统的核心功能主要通过自然语言处理技术和深度学习技术来实现，系统主要功能模块包括统一客服工作台、机器人客户端、智能应答知识库管理、统计分析等功能模块。

客服工作台：包含服务会话窗口、客服资料展示、智能回复、快捷回复、客服转接、客服交接单、交办单、忽略词处理、近义词管理等。

客户端：多渠道接入、自动应答、转人工、客户留言、满意度评价等。

客服管理后台：智能应答知识库管理、知识审批、用户管理、机器人设置、系统报表、自动化处理功能等。

接口能力：接入各渠道（微信公众号、网站、95598、微博、App 等）客服数据的标准化接口和集成能力。

3）应用成效

亿榕智能客服机器人在福建电力省客服中心开展了试点应用，系统集成了福建电力微信公众号及营销业务系统，实现了机器人能够自动回答用户给公众号的留言，提升福建省客服工作的智能化、自动化应用水平，有效解决了电费、电价、停电、故障等覆盖客服 72% 工作量的咨询工作，极大提升了客服人员的工作效率和客户满意度。

参 考 文 献

[1] 潘霄 . 能源电力规划工程原理与应用 [M]. 北京：清华大学出版社，2017.

[2] 倪光南 . 自主可控是增强网络安全的前提 [EB/OL]. 央视网 . [2014-11-27]. http://news.cntv.cn/2014/11/27/ARTI1417053104593636.shtml?eej9ce.

[3] 吴杏平，武亚光，杨维 . 电力客服信息系统工程原理与应用 [M]. 北京：清华大学出版社，2019.

[4] 国家发展改革委，国家能源局 . 关于促进智能电网发展的指导意见（发改运行 [2015]1518 号）[EB]. 中华人民共和国发展和改革委员会 . [2015-7-6]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201507/t20150706_736625.html.

[5] 国务院 . 国务院关于印发“十三五”国家信息化规划的通知（国发 [2016]73 号）. 中国政府网 . [2016-12-27]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/27/content_5153411.htm.

[6] 张延松，王珊 . 内存数据库技术与实现 [M]. 北京：高等教育出版社，2016.

[7] 郑一群 . 服务的秘密 [M]. 北京：中国长安出版社，2013.

[8] 郭汉尧 . 客户分级管理实务 [M]. 武汉：华中科技大学出版社，2011.

[9] 全满枝 . 打造卓越客服：客户联络中心管理案例集 [M]. 北京：人民邮电出版社，2017.

[10] 潘霄，葛维春，全成浩，等 . 网络信息安全工程技术与应用分析 [M]. 北京：清华大学出版社，2016.

[11] 潘明惠，徐链茵 . SAP HANA 内存计算技术项目实战指南 [M]. 北京：清华大学出版社，2012.

[12] 张世翔 . 电力企业信息化 [M]. 2 版 . 北京：中国电力出版社，2017.

[13] 施泉生，张科伟，潘华 . 电力企业决策支持系统原理及应用 [M]. 2 版 . 北京：中国电力出版社，2017.

[14] 唐凌遥 . 企业信息化：企业架构的理论与实践 [M]. 北京：清华大学出版社，2016.

[15] 葛洪伟，姜代红，罗海驰 . 数据库系统原理与应用 [M]. 北京：中国电力出版社，2008.

[16] 杨庆 . 用电信息采集通信技术及应用 [M]. 北京：中国电力出版社，2015.

[17] 唐丽霞，王会燃，刘锐锋 . 电力物联网信息模型及通信协议的设计与实现 [J]. 西安工程大学学报，2010（6）.

[18] 卢志俊，黄若函，周招洋 . 物联网技术在智能电网中的应用 [J]. 电力系统通信，2010（7）.